

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VÝZKUM ŘEČOVÝCH PŘÍZNAKŮ HODNOTÍCÍCH  
DIADOCHOKINETICKÉ (DDK) ÚLOHY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETER KUKUČKA

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## VÝZKUM ŘEČOVÝCH PŘÍZNAKŮ HODNOTÍCÍCH DIADOCHOKINETICKÉ (DDK) ÚLOHY

RESEARCH OF SPEECH FEATURES QUANTIFYING DIADOCHOKINETIC (DDK) TASKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETER KUKUČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MEKYSKA

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Student:** Bc. Peter Kukučka

**ID:** 120603

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Výzkum řečových příznaků hodnotících diadochokinetické (DDK) úlohy**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Při diadochokinetických úlohách se řečník na jeden nádech snaží rychle vyslovit řadu slabik /pa/-/ta/-/ka/-/pa/-/ta/-/ka/..., /ba/-/ba/-/ba/..., či řadu souhlásek /p/-/t/-/k/. Díky těmto úlohám je možné sledovat základní motorické schopnosti artikulačních orgánů, jako např. rtů, čelisti nebo jazyka. Tyto úlohy se využívají v klinické neurologii, např. k posuzování řečových schopností pacientů postižených Parkinsonovou nemocí. V rámci této práce budou navrženy, implementovány a otestovány parametrizační algoritmy, které DDK testy vhodně analyzují a kvantifikují.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] YANG, CH. CH.; CHUNG, Y. M.; CHI, L. Y.; CHEN, H. H.; WANG, Y. T. Analysis of verbal diadochokinesis in normal speech using the diadochokinetic rate analysis program. Journal of Dental Sciences, 2011, roč. 6, s. 221–226. ISSN: 1991-7902.
- [2] JUSTE, F. S.; RONDON, S.; SASSI, F. CH.; RITTO, A. P.; COLALTO, C. A.; FURQUIM DE ANDRADE, C. R. Acoustic analyses of diadochokinesis in fluent and stuttering children. Clinical Science, 2012, roč. 67, s. 409–414. ISSN: 0143-5221.
- [3] PSUTKA, Josef, et al. Mluvíme s počítačem česky. Praha: Academia, 2006. 752 s. ISBN 80-200-1309-1.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Mekyska

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## ABSTRAKT

V rámci diplomovej práce boli naštudované metódy spracovania reči za účelom výpočtu parametrov hodnotiacich reč pacientov s Parkinsonovým ochorením. Hlavné zameranie práce je hodnotenie diadochokinetických (DDK) úloh. Bol navrhnutý algoritmus pre extrakciu parametrov, ktorý prebieha v niekoľkých fázach. Zo vstupného rečového signálu je odstránená jednosmerná zložka, následne je aplikovaný filter typu preemfáza. Vypočítaná je obálka signálu, pomocou ktorej sú detekované maximá reprezentujúce slabiky. Z detekovaných maxím sú vypočítané parametre a štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu. Navrhnutý algoritmus je implementovaný v prostredí Matlab.

## KLÍČOVÁ SLOVA

hypokinetická dysartria, Parkinsonove ochorenie, preemfáza, jednosmerná zložka, obálka signálu, diadochokinetické úlohy, Mann-Whitneyho U test

## ABSTRACT

Speech processing methods were studied to calculate parameters of patient with Parkinson's disease. Main focus of this work is to examine diadochokinetic (DDK) tests. Algorithm for parameters extraction was proposed. It works in more parts. DC is removed from speech signal, preemphasis is applied. Envelope of input signal is calculated, peaks of syllables are detected. Parameters and statistical results of Mann-Whitney U test are calculated from detected peaks. Proposed algorithm is implemented in Matlab.

## KEYWORDS

hypokinetic dysarthria, Parkinson's disease, preemphasis, DC offset, signal envelope, diadochokinetic tests, Mann-Whitney U test

KUKUČKA, Peter *Výzkum řečových příznaků hodnotících diadochokinetické (DDK) úlohy*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 53 s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Mekyska

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Výzkum řečových příznaků hodnotících diadochokinetické (DDK) úlohy“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Jiřímu Mekyskovi za odborné vedenie, cenné rady a poskytnutie materiálov k spracovaniu práce.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....  
(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Proces tvorby reči</b>	<b>13</b>
1.1 Dychové ústrojenstvo . . . . .	13
1.2 Hlasové ústrojenstvo . . . . .	13
1.3 Artikulačné ústrojenstvo . . . . .	14
<b>2 Hypokinetická dysartria</b>	<b>15</b>
2.1 Respirácia . . . . .	15
2.2 Fonácia . . . . .	15
2.3 Artikulácia . . . . .	16
2.4 Prozódia . . . . .	16
<b>3 Diadochokinetické úlohy</b>	<b>18</b>
3.1 Princíp DDK úlohy . . . . .	18
3.2 Parametre DDK úloh . . . . .	18
3.3 Explozívny . . . . .	19
3.3.1 Explózia . . . . .	19
3.3.2 Okluzíva . . . . .	20
<b>4 Prozodické vlastnosti</b>	<b>21</b>
4.1 Základný tón reči . . . . .	21
4.1.1 Jitter . . . . .	21
4.2 Intenzita . . . . .	22
4.2.1 Shimmer . . . . .	22
4.3 Tempo reči . . . . .	22
4.3.1 Pauzy . . . . .	22
<b>5 Spracovanie rečového signálu</b>	<b>23</b>
5.1 Odstránenie jednosmernej zložky . . . . .	23
5.2 Preemfáza . . . . .	23
5.3 Segmentácia . . . . .	24
5.4 Parametrizácia . . . . .	27
<b>6 Návrh a realizácia systému</b>	<b>28</b>
6.1 Schéma systému . . . . .	28
6.2 Popis systému . . . . .	29
6.2.1 Výpočet obálky signálu . . . . .	29



6.2.2	Vyhľadanie obálky . . . . .	30
6.2.3	Detekcia maxím s parametrom <i>MPD</i> . . . . .	33
6.2.4	Detekcia maxím s parametrom <i>MPH</i> . . . . .	33
6.2.5	Porovnanie štandardnej odchyľky . . . . .	36
6.2.6	Prepočet maxím . . . . .	36
6.2.7	Parametrizácia . . . . .	36
6.2.8	Export výsledkov . . . . .	36
6.2.9	Štatistický Mann-Whitneyho U test . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Testovanie</b>	<b>38</b>
7.1	Výpočet parametrov . . . . .	39
7.2	Vyhodnotenie štatistickým testom . . . . .	45
<b>8</b>	<b>Záver</b>	<b>48</b>
	<b>Literatura</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratek</b>	<b>53</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Prierez hlasovým traktom človeka[3]. . . . .	14
3.1	Priebeh nahrávky /pa/ - /ta/ - /ka/ s vyznačenou explóziou, ok- luzívov a tranzientou.[33] . . . . .	20
5.1	Princíp segmentácie bez prekrytia susedných segmentov a s prekrytím susedných segmentov. . . . .	25
5.2	Hammingové okno a pravouhlé okno zobrazené v časovej oblasti. . . .	26
6.1	Blokové schéma navrhovaného systému. . . . .	28
6.2	Normované obálky signálu vypočítané pomocou oboch metód. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek. . . . .	30
6.3	Neupravený vstupný signál rečníka pacienta muža, typ testu 1. . . . .	31
6.4	Porovnanie obálky signálu. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek. . .	31
6.5	Porovnanie detekcie maxím a ukážka robustnosti metódy odčítania vzoriek. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej tran- sformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek. . . . .	32
6.6	Vyhladená obálka posuvným priemerujúcim filtrom. V hornej časti metóda Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek. . . . .	32
6.7	Detekcia maxím z obálky signálu počítanej Hilbertovou transformá- ciou s rôznym parametrom $MPD$ . V hornej časti s parametrom $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom $MPD_2$ . . . . .	34
6.8	Detekcia maxím z obálky signálu počítanej odčítaním vzoriek s rôz- nym parametrom $MPD$ . V hornej časti s parametrom $MPD_1$ , v spod- nej časti s parametrom $MPD_2$ . . . . .	34
6.9	Detekcia maxím z obálky počítanej Hilbertovou transformáciou s pa- rametrom $MPH$ . V hornej časti s parametrom $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom $MPD_2$ . . . . .	35
6.10	Detekcia maxím z obálky počítanej odčítaním vzoriek s parametrom $MPH$ . V hornej časti s parametrom $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom $MPD_2$ . . . . .	35
7.1	Označovanie nahrávok. . . . .	38
7.2	Priebeh tempa reči pacienta muža, typ testu 1. . . . .	40
7.3	Priebeh tempa reči pacienta muža, typ testu 3. . . . .	41
7.4	Priebeh intenzity muža, typ testu 1, V hornej časti ukážka priebehu rečníka kontrolnej skupina, v spodnej časti ukážka priebehu rečníka pacienta. . . . .	42

7.5	Priebeh intenzity ženy pacientky, typ testu 2. . . . .	45
-----	--	----

## SEZNAM TABULEK

3.1	Prehľad parametrov DDK úlohy. . . . .	19
7.1	Porovnanie počítaných parametrov DDK testov muža pre kontrolnú skupinu a skupinu pacientov. Typ testu 1 = /ba/-/ba/-/ba/, 2 = /p/-/t/-/k/, 3 = /pa/-/ta/-/ka/. . . . .	43
7.2	Porovnanie počítaných parametrov DDK testov ženy pre kontrolnú skupinu a skupinu pacientov. Typ testu 1 = /ba/-/ba/-/ba/, 2 = /p/-/t/-/k/ 3 = /pa/-/ta/-/ka/. . . . .	44
7.3	Štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu pre mužov. . . . .	46
7.4	Štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu pre ženy. . . . .	47

# ÚVOD

Hypokinetická dysartria je porucha motorickej realizácie reči u pacientov s Parkinsonovým ochorením. Postihuje prevažnú väčšinu pacientov s týmto ochorením. Táto práca sa zaoberá výzkumom parametrov hodnotiacich diadochokinetické (DDK) úlohy. DDK úlohy spočívajú v opakovaní slabík, napr. /pa/-/ta/-/ka/ čo najrýchlejšie. Slabiky /pa/-/ta/-/ka/ sú zvolené tak, aby rovnomerne zaťažili hlasový trakt.

Zo začiatku práce je popísaný proces tvorby reči a hlasový trakt človeka.

V kapitole 2 sa venujem popisu hypokinetickej dysartrie. Popísané sú poruchy reči, ktoré sa prejavujú vo všetkých rečových subsystémoch: fonácii, respirácii, artikulácii a prozódii. Poruchy sú popísané prihliadajúc na každý subsystém, uvedené sú výsledky doterajších výzkumov v danej oblasti.

V kapitole 3 sú bližšie popísané samotné diadochokinetické úlohy, ich princíp a parametre, pomocou ktorých budem DDK úlohy hodnotiť.

V ďalšej časti práce, v kapitole 4, sa venujem popisu prozodických vlastností: základný hlasivkový tón, intenzita a tempo reči. U pacientov s Parkinsonovým ochorením dochádza k ovplyvneniu všetkých prozodických vlastností. Ovplyvnenie prozodických vlastností je navzájom prepojené.

V kapitole 5 sú objasnené kroky ustredenie signálu, preemfáza, segmentácia a parametrizácia. Tieto kroky sa prevádzajú pri spracovaní rečového signálu a pri výpočte parametrov.

V kapitole 6 Návrh systému a realizácia systému, je predstavený algoritmus, pomocou ktorého bude prebiehať extrakcia jednotlivých parametrov hodnotiacich DDK úlohy. Implementácia algoritmu prebieha v prostredí Matlab a výsledky sú spracované v programe Microsoft Office. V tejto časti práce je objasnený spôsob výpočtu parametrov pomocou detekcie maxím jednotlivých slabík a ich spracovanie štatistickým neparametrickým Mann-Whitneyho U testom.

Výsledky sú zobrazené do tabuliek a komentované v poslednej časti práce, v kapitole 7.

# 1 PROCES TVORBY REČI

Na vytváranie reči v ľudskom tele existuje niekoľko orgánov, ktoré sa nazývajú rečové orgány a spolu vytvárajú hlasový trakt. Plocha traktu sa mení v rozsahu 0–20 [cm<sup>2</sup>] a jeho dĺžka je priemerne 17 [cm]. Podľa funkcií jednotlivých orgánov môžeme hlasový trakt rozdeliť na 3 ústrojenstvá: dychové, hlasové a artikulačné.

## 1.1 Dychové ústrojenstvo

Dychové ústrojenstvo je zložené z dýchacích ciest, pľúc a svalov funkčne spojeného s dýchaním: bránicou. Kapacita pľúc dospelého jedinca je 4–5 [l] vzduchu, pričom 1–2 [l] sú základné hodnoty obsahu vzduchu v pľúcach. Pomer nádychu a výdychu pri dýchaní je cca 2:3 a množstvo vdýchnutého vzduchu je 0,5 [l] na jedno nadýchnutie. Keď človek začne hovoriť, zmení sa pomer nádychu a výdychu na 1:7 až 1:12 a množstvo vdýchnutého vzduchu až na 1,5 [l]. Spotreba vzduchu je u každej hlásky rôzna. U samohlások sa dychová trubica otvára najviac, spotreba vzduchu je najväčšia. Pri spoluhláskach, ktoré sa vyslovujú krátko, napríklad /b/, /c/, /d/ je spotreba vzduchu menšia.

Pri výdychu dochádza za pomoci bránice a pľúc k pohybu vzduchu, ktorý pôsobí ako zdroj energie pre samotnú reč.

## 1.2 Hlasové ústrojenstvo

Hlas ako taký vzniká v hrtane, kde sa nachádza hlasivková štrbina. Ak človek mlčí, hlasivková štrbina je úplne uvoľnená a vzduch prechádza bezo zmeny. Pri rozprávaní sa hlasivková štrbina uzavrie a hlasivky sa dostanú do hlasovej (fonačnej) polohy. Vydychovaním prúdu vzduchu s akustickým tlakom sa hlasivky rozkmitajú a vzniká kvaziperiodický signál s frekvenciou  $F_0$ , ktorý sa nazýva základný tón.[3] Tento signál tvorí základ ľudského hlasu. Viac sa základnému tónu venujem v kapitole 4.1.

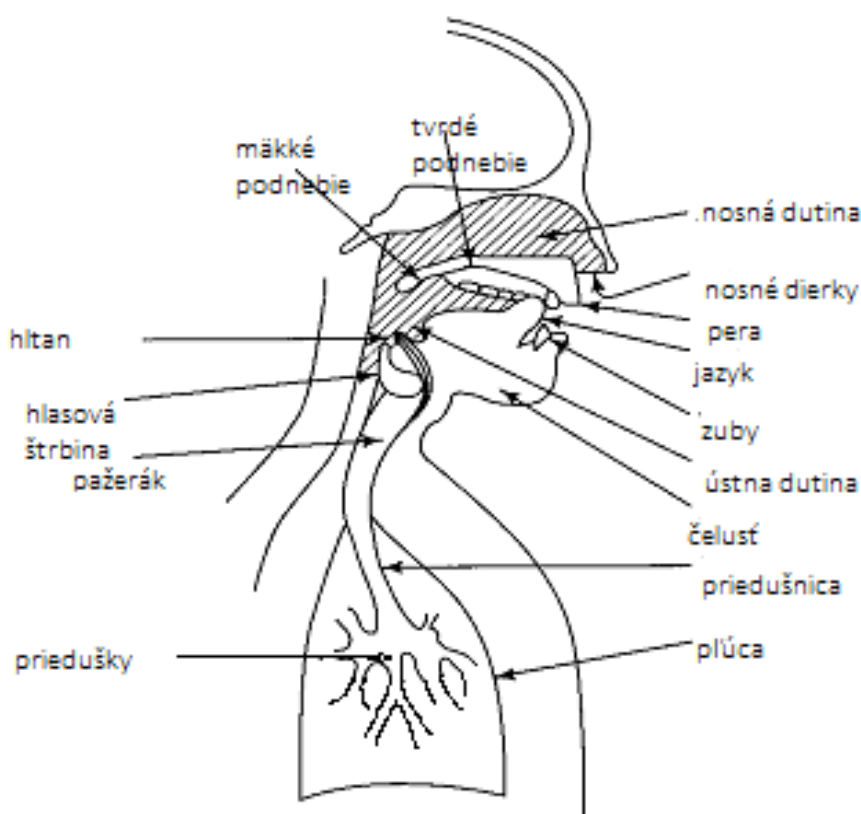
Pri tvorbe reči sa využívajú obe postavenia hlasiviek: v pokoji aj v hlasovej polohe. Pri postavení v pokoji vznikajú neznelé zvuky. Tie vznikajú až v nadhrtanových dutinách, majú šumový charakter a neobsahujú základný tón. Typická neznelá hláska je /s/. Pri postavení hlasiviek v hlasivkovej polohe vznikajú samohlásky a znelé spoluhlásky.

### 1.3 Artikulačné ústrojenstvo

Artikulačné ústrojenstvo je posledná časť hlasového traktu. Skladá sa z nadhrtanových dutín (nosná, ústna, hrdelná) a artikulačných orgánov (zuby, jazyk, pery, mäkké podnebie a čeluste). Nadhrtanové dutiny sa na tvorbe reči podielajú pasívne, svojím tvarom a veľkosťou. Pri prechode základného hlasivkového tónu nadhrtanovými dutinami sa prejaví rezonancia, dochádza k zmene akustickej energie, ktorá sa sústreďuje do oblastí okolo určitých frekvencií. Tieto oblasti sa nazývajú formantové frekvencie ( $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ ). Z celého hlasového traktu výsledný zvuk najviac ovplyvňuje artikulačné ústrojenstvo.

Zapojením nosnej dutiny sa potlačia určité frekvencie a vznikajú antiformanty ( $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ). Tieto frekvencie sa tiež nazývajú antiformantové frekvencie. Výsledný zvuk je superponovaná hodnota zvuku nosnej a ústnej dutiny.

Vydychovaním vzduchu cez prekážky, ktoré vytvára artikulačné ústrojenstvo, vzniká šum. Ten tvorí základ všetkých spoluhlások. Jeho modifikovaním behom reči zmenou postavenia artikulátorov vznikajú všetky hlásky hovoreného jazyka.



Obr. 1.1: Prierez hlasovým traktom človeka[3].

## 2 HYPOKINETICKÁ DYSARTRIA

Poškodenie pohybovej zložky tvorby reči sa nazýva dysartria, u pacientov s PCH hovoríme o hypokinetickej dysartrii. Podľa [6] je dysartria porucha motorickej realizácie reči vzniknutej poškodením centrálnnej nervovej sústavy. Výskyt hypokinetickej dysartrie sa predpokladá u 70–90 % pacientov trpiacich PCH a poruchy sa prejavujú vo všetkých rečových subsystémoch, tj. fonácii, respirácii, artikulácii a prozódii.[7]

Nedostatky v reči bývajú v rannom štádiu PCH v bežnom živote ťažšie rozpoznateľné. Pacienti a ich okolie si ich povšimnú až pri zjavných problémoch prejavujúcich sa pri každodenných aktivitách. Nedostatky sa môžu prejavovať rôzne v závislosti na psychickom stave pacienta alebo dennej dobe.[8]

### 2.1 Respirácia

U pacientov s PCH dochádza k narušeniu respiračného procesu, ktorý slúži na vytváranie prúdu vzduchu s akustickým tlakom. Spôsobené je to oslabením a tuhosťou svalov, ktoré sa prejavujú hlavne v neskorších fázach choroby [8]. Dochádza k neefektívnemu hospodáreniu so vzduchom, pacienti na jeden nádych hovoria kratšie, vyprodukujú menej slabík a majú problém skoordinať reč a dýchanie.[9][10]. Narušenie respiračného procesu vedie k zníženiu schopnosti kontrolovať intenzitu produkovanej reči a tiež k ďalším nedostatkom v oblasti fonácie a artikulácie. Podľa [11],[12],[13] majú pacienti nižšiu priemernú intenzitu, problémy s udrжанím intenzity na jednej úrovni a jej reguláciou pri reagovaní na vonkajšie podnety. Pri opakovaní slabiky na 4 rôznych úrovniach hlasitosti pacienti s PCH vykazovali menší rozsah intenzity ako kontrolná skupina zdravých ľudí [14].

### 2.2 Fonácia

Najviac charakteristické poruchy reči sú v oblasti fonácie. U pacientov s PCH bol zistený hlasový tremor, nedokonalé zovretie hlasiviek, redukované a pomalé chvenie hlasiviek [8]. Poruchy zahŕňajú zmeny v základnej frekvencii  $F_0$ , stabilite  $F_0$  a intenzite. Pacienti s PCH vykazujú zvýšené hodnoty  $F_0$ , čo je spôsobené stuhnutím svalov v oblasti hrdla. Hodnoty  $F_0$  narastajú aj s rozvíjajúcou sa PCH[15].

Zvýšené hodnoty  $F_0$  sú špecifické najmä v úlohách, kde boli vyslovované súvislé samohlásky. V týchto úlohách sú charakteristické aj zvýšené hodnoty odchylky  $F_0$  a *Jitter*-u. [18]



## 2.3 Artikulácia

V oblasti artikulácie dochádza k zlej výslovnosti spoluhlások. Artikulačné chyby sú spôsobené najmä nedostačujúcou eleváciou jazyka a nesprávnym uzáverom dýchacích ciest u trených spoluhlások /f/, /v/, /s/, /z/, /š/, /ž/, /x/[8]. Literatúra [17] uvádza, že v 45 % prípadoch pacienti vyslovujú zle radené, poloradené aj trené spoluhlásky. Zlú výslovnosť spoluhlások potvrdili aj [16], keď pacienti vyslovovali spoluhlásky radené (explozívne) /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/ nesprávne, ako spoluhlásky trené (frikatíva). Spoluhlásky /t/ a /d/ zneli ako /s/ a /z/, kým /p/ a /b/ zneli ako /f/ a /v/.

Pacienti pri vyslovovaní okluzív neznížili intenzitu, oproti normálnym rečníkom, ktorí ju znížili značne. To je jeden z príkladov porúch artikulácie, keď pacienti s PCH majú znížený rozsah artikulačných pohybov alebo zníženú silu artikulátorov. To vedie k neschopnosti adekvátne uzavrieť ústnu dutinu.

Vyslovovanie samohlások môže byť tiež ovplyvnené nedostatkami artikulátorov a prejavujú sa ako zmeny vo formantoch. Literatúra [18] pojednáva o zvýšenej variabilite hodnôt prvého formantu  $F_1$ , ukazujúc na možnú nestabilitu artikulátorov.

## 2.4 Prozódia

Prozodické faktory reči ako základný tón reči  $F_0$ , tempo a intenzita sú významnými nositeľmi emočného naladenia hovoriaceho. Zdôrazňujú obsah vyjadrenia rečového prejavu. Viac sa prozodickými faktormi zaoberám v kapitole 4. U pacientov s PCH dochádza k zmenám tempa reči: spomaleniu alebo zrýchleniu reči. Reč je monotónna z hľadiska frekvencie základného tónu a úrovne intenzity. Poruchy v prozódii významne ovplyvňujú celkovú zrozumiteľnosť reči[19].

Pacienti trpiaci PCH vykazujú nižšie hodnoty variability  $F_0$  pri vyjadrovaní prozódie v poslednej slabike vety v porovnaní s normálnymi rečníkmi podobného veku [20]. Zatiaľ, čo normálni rečníci pri opytovacej vete produkovali na konci vety slabiky s vyššou  $F_0$ , u pacientov s PCH neboli pozorované rozdiely v  $F_0$ .

Štúdie [15],[21] poukazujú na menší rozsah  $F_0$  a jej menšiu variabilitu u pacientov s PCH počas čítania textu. Variabilita klesá s vážnosťou ochorenia pacienta PCH.

Pri prejave emócií dochádza u pacientov s PCH k menším výkyvom intenzity. Najväčší rozdiel vidieť pri vetách s obsahom emócií hnevu, keď pacienti nedokázali prispôbiť intenzitu potrebnú pre vyjadrenie hnevu [22]. Pacienti vykazujú nižšiu schopnosť zmeniť úroveň intenzity.

Pacienti so strednou úrovňou postihnutia PCH majú tempo reči približné normálnym rečníkom, u pacientov s vyššou úrovňou postihnutia dochádza k výkyvom

smerom k pomalšiemu aj rýchlejšiemu tempu. Odchylka priemerného tempa teda nie je výrazná [15].

Pacienti robia v reči nezámerné a neplánované pauzy, môže dochádzať k opakovaniu slabík alebo slov na začiatku prejavu alebo počas neho.

### 3 DIADOCHOKINETICKÉ ÚLOHY

Jedna z metód na hodnotenie motorických schopností artikulačného ústrojenstva pacientov s PCH sú diadochokinetické úlohy (DDK úlohy). DDK úlohy sú založené na rýchlom opakovaní slabík, ktoré obsahujú kombináciu spoluhláska – samohláska (consonant – vowel, C – V).

V roku 1929 prvý krát vznikol predpoklad, že existuje spojitosť medzi DDK testovaním a schopnosťou správne artikulovať.[24] Tento predpoklad bol neskôr vyjadrený tiež v literatúre [16] a [23].

Opakovanie C – V slabík vyžaduje rýchly pohyb založený na rovnováhe orálnej štruktúry. Všetky súčasti zapojené do tvorby reči musia byť pevne stabilizované aby sa predišlo stratám v účinnosti. Vybrané časti orgánov sa môžu správne zapojiť do artikulácie iba ak je zabezpečená ich stabilita.[25]

Jedným z hlavných nedostatkov DDK úloh je čas, ktorý treba na zbieranie dát a ich analýzu. Preto sa doteraz nestala z testovaní pomocou DDK úloh rutina. Ďalší nedostatok uvádza literatúra [26], keď 2 pacienti pri neakustických štúdiách dosahovali dobré výsledky za cenu kvality artikulácie. Túto skutočnosť nie je možné pri akustických realizáciách DDK úlohách predpokladať a zobrať do úvahy. Takejto kompenzácie už nie sú schopní pacienti s vyššou úrovňou ochorenia PCH.[9]

Testovaním pomocou diadochokinetických úloh sa okrem spomenutých štúdií zabývali aj ďalšie: [27], [28], [29], [30]. V ČR je to [5].

#### 3.1 Princíp DDK úlohy

Pacienti sú požiadaný aby urobili hlboký nádych a opakovali slabiky /pa/–/ta/–/ka/, /p/–/t/–/k/ alebo /ba/–/ba/–/ba/ čo najrýchlejšie a najkvalitnejšie. Kombinácia /pa/–/ta/–/ka/ rovnomerne zaťažuje hlasový trakt od artikulácie obojpernej okluzívy /p/ cez predďasnové /t/ po mäkkopodnebné /k/ [5].

#### 3.2 Parametre DDK úloh

Počet vyslovených C – V kombinácií za jednu sekundu sa vyjadruje medzinárodne používanou veličinou diadochokinéza, parameter  $DDK_{prt}$  [ $s^{-1}$ ]. Parameter  $DDK_{prp}$  [ms] vyjadruje priemerné trvanie periód. Perióda sa skladá z intervalu medzi jednotlivými slabikami (pauzy) a dĺžky trvania slabiky.  $DDK_{sop}$  [ms] je štandardná odchylka periódy všetkých slabík. Parameter  $DDK_{kvp}$  [%] vyjadruje mieru variácie periódy medzi jednotlivými slabikami a vyhodnocuje schopnosť udržať konštantnú rýchlosť pri vyslovovaní jednotlivých slabík. Parameter  $DDK_{kvp}$  vypočítame:

Názov parametru	Skratka	Jednotka
Priemerná DDK perióda	$DDK_{prp}$	[ms]
Priemerné DDK tempo	$DDK_{prt}$	[s <sup>-1</sup> ]
Štandardná odchyľka DDK periódy	$DDK_{sop}$	m[s]
Koeficient variácie DDK periódy	$DDK_{kvp}$	[%]
Jitter DDK	$DDK_{jit}$	[%]
Priemerná DDK špičková intenzita	$DDK_{pin}$	[dB]
Štandardná odchyľka DDK špičkovej intenzity	$DDK_{soi}$	[dB]
Koeficient variácie DDK špičkovej intenzity	$DDK_{kvi}$	[%]
Maximálna intenzita DDK nahrávky	$DDK_{min}$	[dB]
Priemerná intenzita DDK nahrávky	$DDK_{pin}$	[dB]
Maximálna intenzita DDK maxím	$DDK_{mim}$	[dB]
Priemerná intenzita DDK maxím	$DDK_{pim}$	[dB]

Tab. 3.1: Prehľad parametrov DDK úlohy.

$$DDK_{kvp} = 100 \frac{DDK_{sop}}{DDK_{prp}}. \quad (3.1)$$

Parameter  $DDK_{kvp}$  [dB] je štandardná odchyľka všetkých špičkových intenzít. Prehľad všetkých DDK parametrov, ktoré budem v práci vyhodnocovať je v Tab. 3.1.[31]

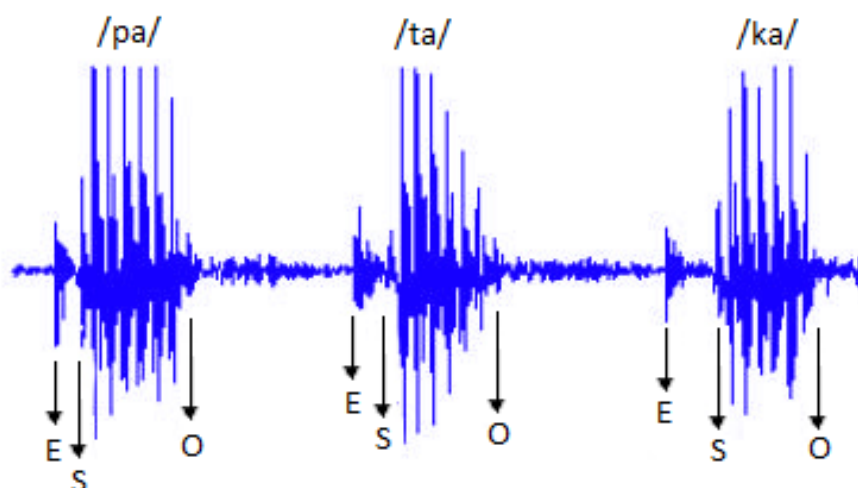
### 3.3 Explózy

Spoločným artikulačným rysom explózných spoluhlások je vytvorenie prekážky vydychovanému prúdu vzuchu. V tomto mieste dochádza k nárastu tlaku vzduchu pod miestom uzavretia (oklúzia) a následnému uvoľneniu sprevádzanému vznikom šumu (explózia). Následne dochádza k tzv. prechodu (tranzientu), ovplyvneniu nasledujúcej hlásky.

Štruktúra oklúzia–explózia–tranzient je typická pre hlásky znelé /b/, /d/, /đ/, /g/ ako aj neznelé /p/, /t/, /ť/, /k/. Štruktúra je nezávislá na rečníkovi.

#### 3.3.1 Explózia

Na Obr. 3.1 môžeme vidieť explóziu ako interval medzi vzorkom "E" a "S". V tom istom obrázku pozorujeme aj rôzne dĺžky intervalov pre jednotlivé slabiky /pa/, /ta/ a /ka/. Dĺžka explózie narastá v reči pacientov s PCH oproti zdravým rečníkom [32]. Vzorka "S" reprezentuje začiatok samohlásky /a/.



Obr. 3.1: Priebeh nahrávky /pa/ - /ta/ - /ka/ s vyznačenou explóziou, okluzívou a tranzientou.[33]

### 3.3.2 Okluzíva

Na Obr.3.1 je možné pozorovať dĺžku okluzívy ako interval medzi vzorkom "O" a "E".

Pri opakovaní slabík /pa/-/ta/-/ka/ je možné v nahrávkach pozorovať zmeny prejavujúce sa existenciou oslabených okluzív, pri ktorých nedochádza k úplnému uzavretiu vokálneho traktu. Behom intervalu okluzívy je v reči u pacientov s PCH prítomný charakteristický šum.

## 4 PROZODICKÉ VLASTNOSTI

Medzi prozodické vlastnosti reči zaraďujeme predovšetkým vlastnosti reči, ktoré súvisia s frekvenciou základného tónu reči, intenzitou a časovaním. Prozodické vlastnosti sa súčasne nazývajú aj suprasegmentálne vlastnosti alebo javy. Jednotlivé suprasegmentálne javy sú navzájom silne zviazané, napr. časové členenie reči je silno zviazané s melódiou a pod. Popísané sú na troch úrovniach: akustickej, percepčnej a lingvistickej.

### 4.1 Základný tón reči

Základný tón reči je základným parametrom rečového signálu vo frekvenčnej oblasti. Vyjadruje počet kmitov hlasiviek za sekundu a má vplyv na výšku hlasu. Rozsah frekvencie základného tónu  $F_0$  pri normálnej reči sa pohybuje v priemere medzi 40–600 [Hz]. Hodnoty frekvencie sa líšia pre dospelých a deti, ženy a mužov. Rozsah  $F_0$  u mužov je 80–160 [Hz], ženy majú rozsah 150–300 [Hz] a deti 200–600 [Hz]. Pri speve sa  $F_0$  pohybuje v rozsahu dve oktávy, sopranistky dosahujú rozsah troch oktáv. Hodnotu frekvencie základného tónu  $F_0$  vypočítame:

$$F_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (4.1)$$

kde  $T_0$  je perióda základného tónu.

Zmena frekvencie základného tónu sa prejavuje ako intonácia. Je to najviac pozorovateľná prozodická vlastnosť. Intonáciu vnímame napr. pri rozlíšení oznamovacej vety od opytovacej a pri ukončení vety.

#### 4.1.1 Jitter

Nestabilita základného tónu sa nazýva *Jitter*. *Jitter* sa definuje ako stredný rozdiel dĺžok susedných períód, podelený strednou dĺžkou periódy, vyjadruje sa v percentách. Pri normálnej reči sa hodnoty *Jitter*-u pohybujú v rozmedzí 0,5–1,0 %. Pri hodnotách *Jitter*-u 2 % už je možné pozorovať rozdiely v reči.[2] Matematicky *Jitter* vypočítame nasledovne:

$$Jitter = \frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} |T_i - T_{i+1}| \right]. \quad (4.2)$$

## 4.2 Intenzita

Intenzita alebo amplitúda reči je vnímaná ako sila hlasu. V závislosti na sile vydychovaného prúdu sa mení aj intenzita rečového signálu. Intenzita je daná fyziologicky a je individuálna pre každú osobu. Najviac poukazuje na emocionálny stav človeka. Nervózny človek má kolísavú intenzitu a nahneváný má vyššiu intenzitu prejavu ako človek kludný.

### 4.2.1 Shimmer

*Shimmer* je definovaný ako variabilita amplitúd špičiek v [dB]. Matematicky ho vyjadríme nasledovne:

$$Shimmer = \frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^{N-1} |20 \log(A_{i+1}/A_i)| \right], \quad (4.3)$$

kde  $A_i$  je amplitúda  $i$ -tého vzorku signálu a  $N$  je počet periód.

## 4.3 Tempo reči

Tempo reči je dané rýchlosťou práce artikulátorov a vyjadruje sa počtom vyslovených slabík za jednotku času. Tempo reči môže byť ovplyvnené rôznymi faktormi: štýlom rozprávania (čítaná alebo spontánna reč), emocionálnym stavom rečníka (kontrast klud voči rozčúleniu), členením reči a umiestňovaním páuz, spôsobom artikulácie (starostlivá alebo nedbalá) a rytmom reči (slovný prízvuk, vetný prízvuk alebo bez prízvuku). Tempo reči je dané aj osobným tempom každého rečníka. Jazyky jednotlivých národov majú rôzne priemerné tempá, napr. ruština je rýchlejšia ako čeština. Tempo češtiny sa udáva ako 120 vyslovených slabík za minútu.[2]

### 4.3.1 Pauzy

Pauzy ovplyvňujú časovanie a zrozumiteľnosť reči. Odlišujú vetné úseky alebo celé vety. Jeden vetný úsek je obvykle vyslovený na jeden nádych. V mieste nádychu potom vznikajú pauzy. Pre vetné úseky so slabou väzbou sú charakteristické dlhšie pauzy, pre vetné úseky so silnou väzbou naopak kratšie pauzy, ktoré ani nemusia byť perцепčne pozorovateľné.

Umiestňovanie, dĺžka a počet páuz výrazne ovplyvňujú plynulosť a prirodzenosť reči.

## 5 SPRACOVANIE REČOVÉHO SIGNÁLU

### 5.1 Odstránenie jednosmernej zložky

Jednosmerná zložka nenesie žiadnu užitočnú informáciu, ale môže mať rušivý charakter pri spracovaní rečového signálu, napríklad pri určovaní počtu prechodov nulou, energie signálu atď.

Jednosmernú zložku je vhodné odstrániť odčítaním:

$$s'[n] = s[n] - \mu_s, \quad (5.1)$$

kde strednú hodnotu  $\mu_s$  je nutné odhadnúť. Môžeme ju vypočítať dvoma spôsobmi.

1. Stredná hodnota off-line sa spočíta spriemerovaním signálu:

$$s = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s[n]. \quad (5.2)$$

2. Stredná hodnota on-line, keď nemáme k dispozícii celý signál alebo je príliš dlhý a neustále časom pribúda. Stredná hodnota sa odhaduje rekurzívne:

$$s[n] = \gamma s[n-1] + (1 - \gamma)s[n], \quad (5.3)$$

kde  $\gamma \rightarrow 1$ . [[1]]

### 5.2 Preemfáza

Kvantizačný šum má približne rovnomerné spektrum, jeho záporný vplyv sa zvlášť prejavuje na spektrálnych zložkách s vyššou frekvenciou. Väčšina užitočnej informácie reči sa nachádza nad hranicou frekvencie 300 [Hz], energia je sústredená pod hranicou 300 [Hz].

Preemfáza sa využíva na zdôrazňovanie amplitúd spektrálnych vyšších frekvencií. Vyrovnáva frekvenčnú charakteristiku vstupného signálu. Je realizovaná preemfázovým filtrom typu horná priepusť HP s konečnou impulznou odozvou a prenosovou funkciou: [4]

$$H(z) = 1 - az^{-1}. \quad (5.4)$$



Diferenčná rovnica, odpovedajúca prenosovej funkcii je nasledovná:

$$y[n] = x[n] - a[n - 1], \quad (5.5)$$

kde parameter filtru  $a$  sa volí v rozsahu 0,9–1.[3]

Úprava signálu preemfázovým filtrom sa dá popísať nasledujúcou rovnicou:

$$\tilde{s}[n] = s[n] - as[n - 1], \quad (5.6)$$

### 5.3 Segmentácia

Jednou zo základných operácií pri spracovaní reči je rozdelenie reči na rámce (segmenty). Vychádzame z ponatku, že reč je kvazistacionárna a parametre reči sú konštantné iba na krátkych časových úsekoch. Aby sme tento poznatok využili, zvolíme segmenty s dĺžkou 10–30 [ms]. Segmenty pri ďalšom spracovaní môžeme voliť:

1. bez vzájomného prekryvu.
2. s prekrytím susedných segmentov.

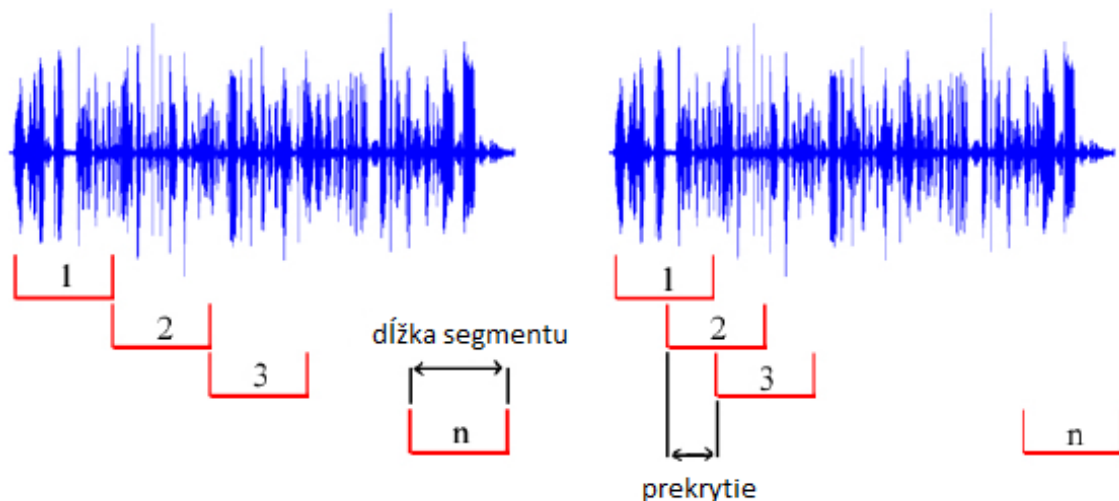
Segmentácia signálu s prekrytím susedných segmentov vedie k presnejším výpočtom počítaných parametrov rečového signálu.

Počet segmentov po segmentácii s prekrytím susedných okien sa dá vypočítať nasledovne:

$$S_N = \left\lceil \frac{L - P}{N - P} \right\rceil, \quad (5.7)$$

kde  $L$  je dĺžka segmentovaného signálu,  $N$  je dĺžka jedného segmentu a  $P$  je dĺžka prekryvu. Pretože spracovanie signálu prebieha často za pomoci algoritmov využívajúcich Fourierovu transformáciu, je nutné voliť dĺžku segmentu nasledovne:

$$N = 2^n, \quad (5.8)$$



Obr. 5.1: Princíp segmentácie bez prekrytia susedných segmentov a s prekrytím susedných segmentov.

kde  $n = 0, 1, 2, \dots$

Následne sú segmenty vážené váhovacím oknom. Váhovacie okná môžu byť napríklad pravouhlé okno alebo Hammingové okno. Výber okna závisí od charakteru vstupného signálu [3]. Hammingovo okno utlmí signál na okrajoch rámca a zabráni prechodovým javom, využíva sa hlavne, keď sa použije segmentácia reči s prekrytím. N adruhej strane má horšie frekvenčné rozlíšenie ako pravouhlé okno. Ukážku okien môžeme vidieť na Obr. 5.2. Hammingové okno je definované nasledovne:

$$\text{pre } n = 0, 1, \dots, N - 1 : w[n] = 0,54 - 0,46 \cos\left(n \frac{2\pi}{N}\right), \quad (5.9)$$

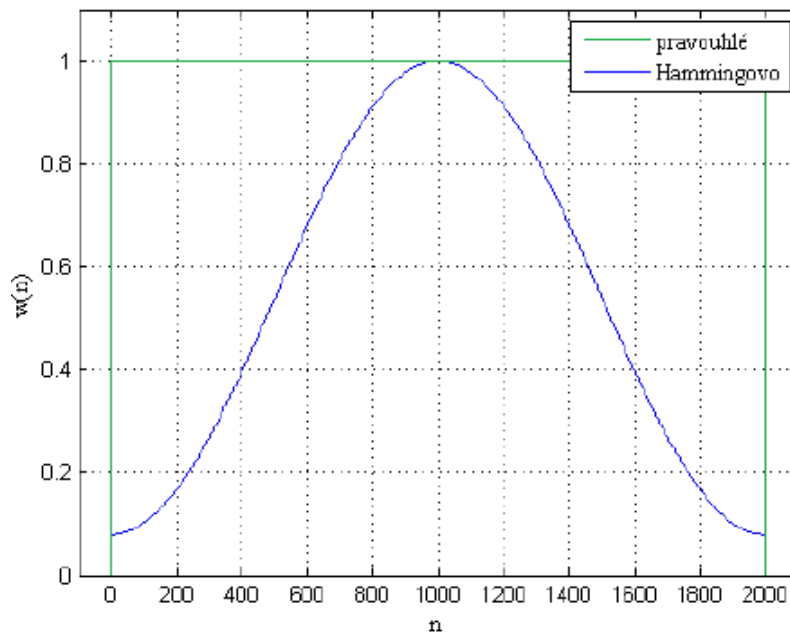
$$\text{pre ostatné } n : w[n] = 0. \quad (5.10)$$

Pravouhlé okno je definované nasledovne:

$$\text{pro } n = 0, 1, \dots, N - 1 : w[n] = 1, \quad (5.11)$$

$$\text{pro ostatní } n : w[n] = 0. \quad (5.12)$$

kde  $w[n]$  je diskretná váhovácia funkcia.



Obr. 5.2: Hammingové okno a pravouhlé okno zobrazené v časovej oblasti.

Pri analýze reči rozkladáme rečový signál na segmenty, z ktorých potom analyzujeme jednotlivé parametry. Po zpracovaní signálu je nutné previesť spätnú desegmentáciu, aby sme znovu dostali pôvodný signál. Desegmentácia alebo spätná syntéza signálu sa prevádza pomocou:[3]

1. metóda odstránenia presahu.
2. metóda pričítania presahu.

Častejšie sa využíva metóda pričítania presahu. Princíp tejto metódy spočíva v realizácii diskretnej konvolúcie dvoch postupností. Podmienkou je aby jedna postupnosť bola podstatne dlhšia ako druhá. Vstupný signál  $x[n]$  je rozdelený na úseky  $x_i[n]$  po  $L$  vzorkoch a druhý vstupný signál  $h[n]$  má dĺžku  $M$  a platí  $L \gg M$ . Výsledná konvolúcia sa potom rovná:

$$y_i[n] = x_i[n] * h[n], \quad (5.13)$$

kde  $i = 0, 1, 2, \dots$ . Koncové časti čiastkových konvolúcií je nutné sčítat.

## 5.4 Parametrizácia

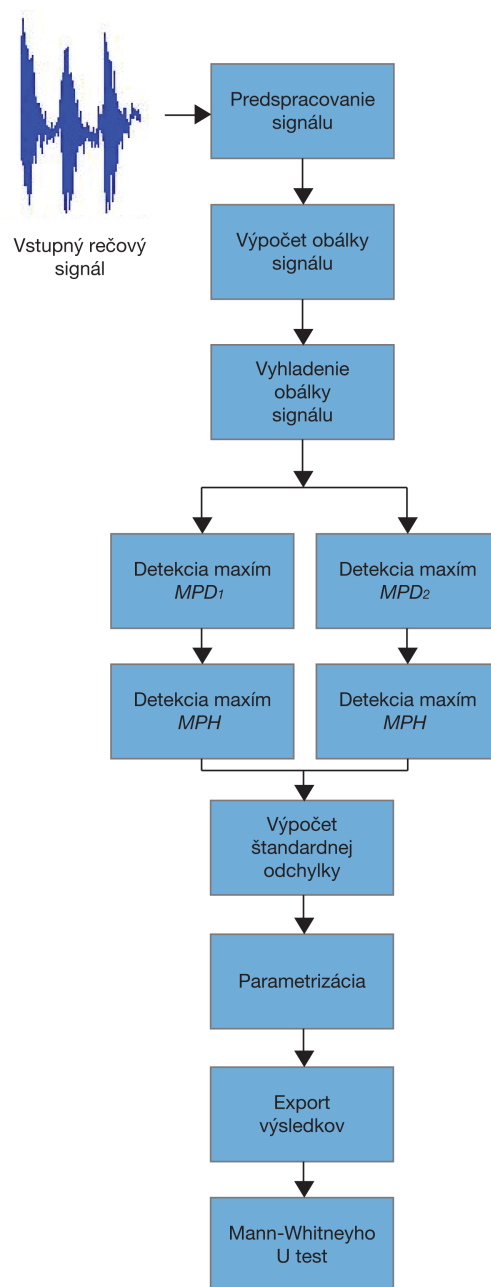
Parametrizáciou sa myslí vyjadrenie rečového signálu obmedzeným množstvom hodnôt. V literatúre sa môžeme stretnúť s metódami popisu:

1. neparametrický popis - je založený na poznatkoch o spracovaní signálu, napr. Fourierova transformácia.
2. parametrický popis - je založený na poznatkoch o tvorbe reči.

Tieto dve skupiny často splývajú, pretože parametrický popis využíva veľa z techník neparametrického popisu. Nie vždy je cieľom ich úplne oddeliť. Vypočítané hodnoty sa nazývajú vždy rovnako: parameter. Parametre môžu byť skalárne alebo vektorové.

## 6 NÁVRH A REALIZÁCIA SYSTÉMU

### 6.1 Schéma systému



Obr. 6.1: Blokové schéma navrhovaného systému.

## 6.2 Popis systému

Nahrávka rečového signálu je na vstupe upravená preemfázovým filtrom s parametrom  $a = 0,95$  zo signálu je odstránená jednosmerná zložka.

### 6.2.1 Výpočet obálky signálu

V druhom bloku je prevádzaný výpočet obálky signálu. V prostredí Matlab je vytvorená funkcia `main.m`, ktorá využíva dve metódy výpočtu obálky signálu. Pre ďalšiu detekciu maxím a výpočty algoritmu sa využíva absolútna hodnota vypočítanej obálky signálu. To je nutné kvôli detekcii maxím so zápornými hodnotami.

#### Výpočet obálky signálu využitím Hilbertovej transformácie

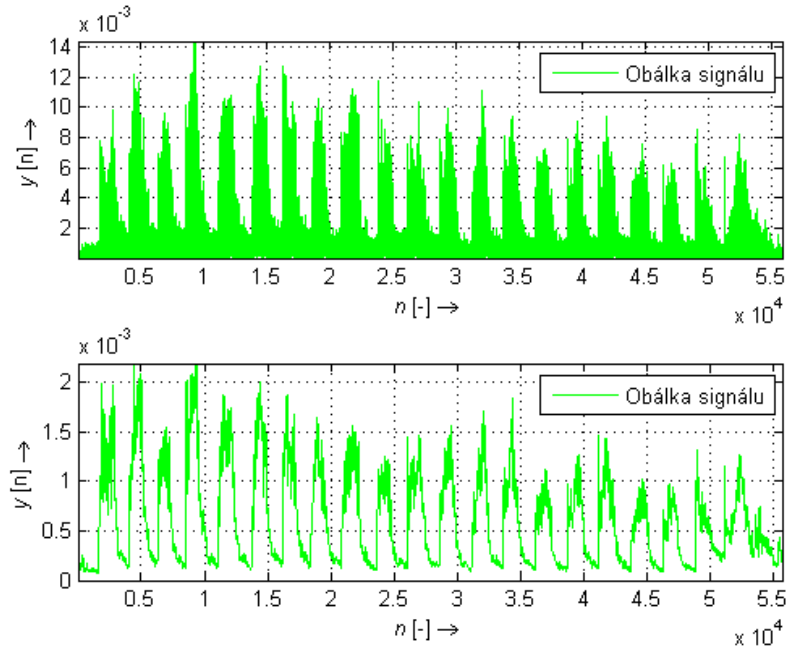
Metóda výpočtu Hilbertovej obálky využíva Hilbertovu transformáciu signálu pre prevod signálu na analytický signál. V Matlabe je pre Hilbertovu transformáciu vytvorená funkcia `hilbert()`. Táto metóda dosahuje veľmi dobré výsledky pri testovaní na nahrávkach kontrolnej skupiny. Pri testovaní nahrávok pacientov môže dochádzať k nesprávnym detekciám maxím v prípadoch, kde nastáva výkyv intenzity v prejave rečníka. K dispozícii sú nahrávky pacientov s rôznou úrovňou ochorenia. Nedostatky metódy sa významnejšie prejavujú v prípadoch, keď majú pacienti výraznejšie ovplyvnenú reč Parkinsonovou chorobou.

#### Výpočet obálky signálu odčítaním vzoriek

Z dôvodu slabej robustnosti v prípade výkyvu intenzity bola navrhnutá druhá metóda pre výpočet obálky signálu. Metóda odčítaním adjacných vzoriek spočíva v konvertovaní vstupného signálu do pola odčítaných po sebe idúcich vzoriek. V Matlabe je pre výpočet použitá funkcia `diff()`. Princíp odčítania po sebe idúcich vzoriek:

$$[x[1] - x[0]; x[2] - x[1] \dots x[n] - x[n - 1]], \quad (6.1)$$

kde  $x[n]$  je  $n$ -tý prvok rečového signálu. Táto metóda je dostatočne robustná a odstraňuje vyššie spomenuté nedostatky výpočtu obálky pomocou Hilbertovej transformácie. Demonštráciu funkčnosti oboch metód výpočtu obálky môžeme vidieť na Obr. 6.2.



Obr. 6.2: Normované obálky signálu vypočítané pomocou oboch metód. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek.

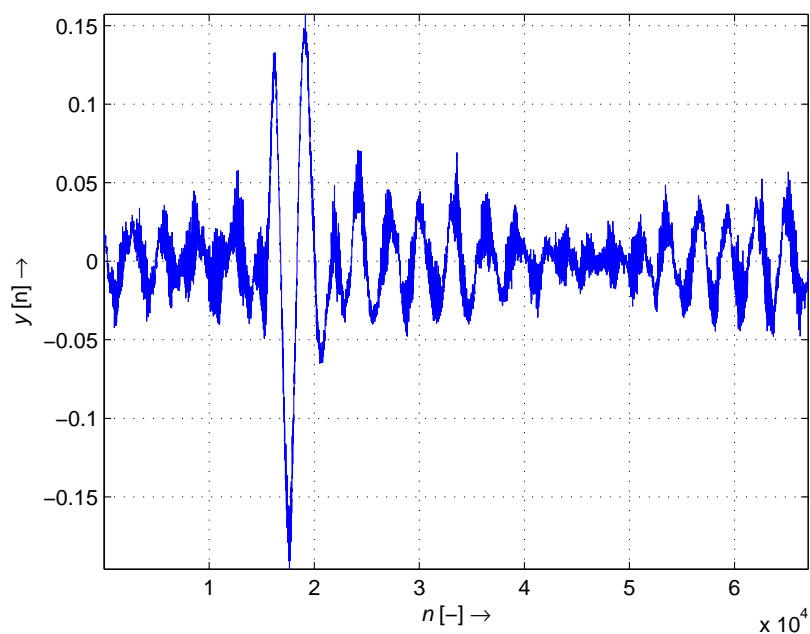
### Porovnanie metód výpočtu obálky signálu

Na Obr. 6.3 je zobrazený rečový signál na vstupe algoritmu. Pacient je muž a prevedený test je typ 1, kedy pacient opakuje slabiky /ba/-/ba/-/ba/. V priebehu nahrávky dochádza k viacerým výkyvom intenzity maxim.

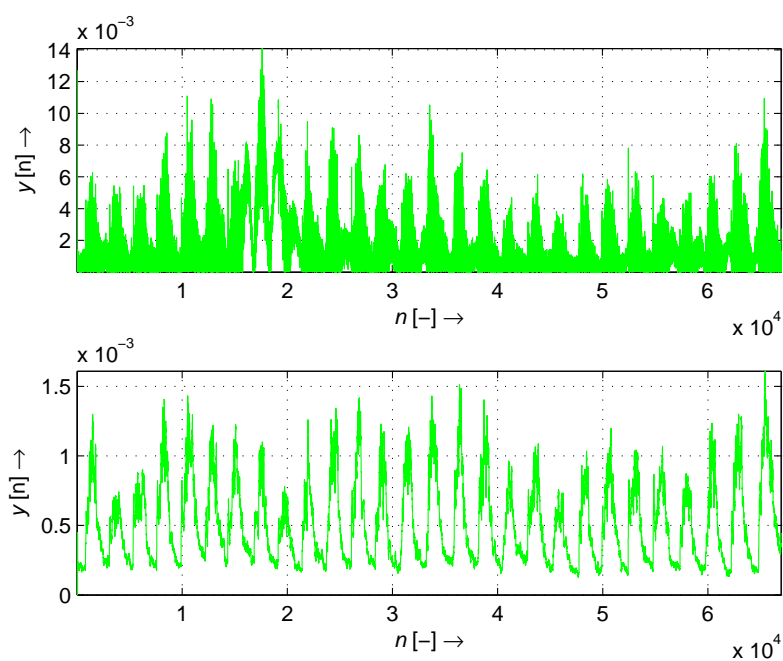
Výpočet obálky signálu z Obr. 6.3 vidíme na Obr. 6.4. V mieste najvýraznejšieho výkyvu intenzity nahrávky dochádza v prípade výpočtu obálky Hilbertovou transformáciou k vytvoreniu vysokých špičiek v obálke. To spôsobuje prekážky pri ďalšej analýze signálu a pri výpočte maxim v danom mieste. Výsledky pre Hilbertovu transformáciu na Obr. 6.4 a Obr. 6.5 sú porovnané s metódou výpočtu obálky odčítaním vzoriek.

#### 6.2.2 Vyhladenie obálky

Blok Vyhladenie obálky signálu využíva posuvný priemerujúci filter s parametrom  $M$ .  $M$  je veľkosť posuvného okienka, v našom prípade volíme  $M = 40$  pri vzorkovacej frekvencii  $f_{vz} = 16000$  [Hz]. Vyhladená obálka signálu je zobrazená na Obr. 6.6.

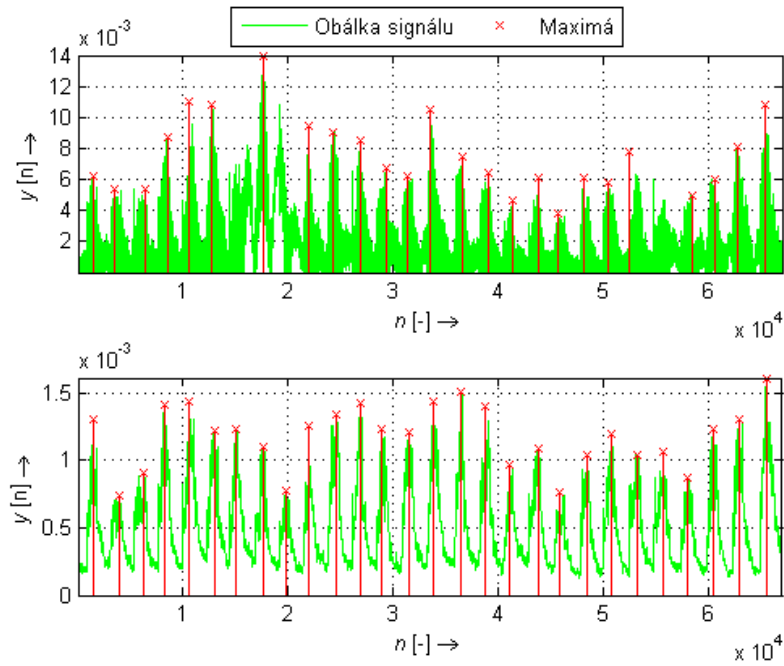


Obr. 6.3: Neupravený vstupný signál rečníka pacienta muža, typ testu 1.

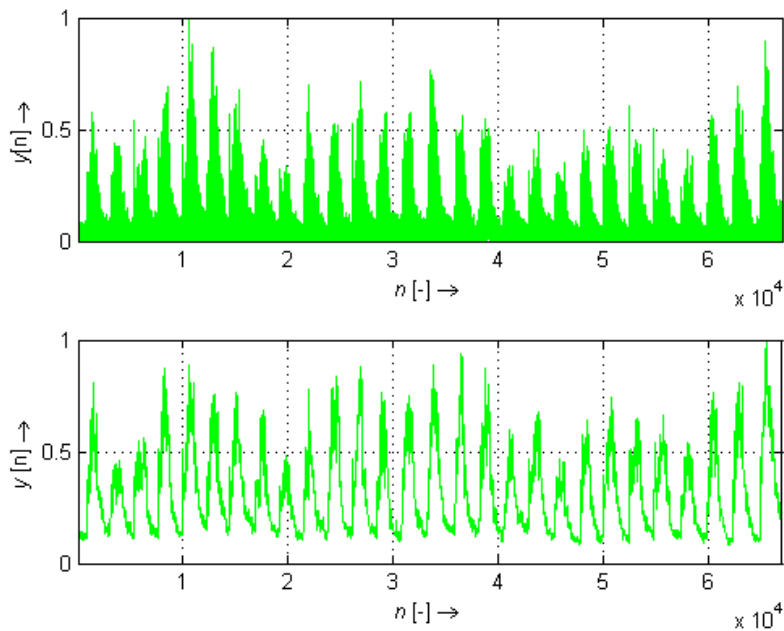


Obr. 6.4: Porovnanie obálky signálu. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek.





Obr. 6.5: Porovnanie detekcie maxím a ukážka robustnosti metódy odčítania vzoriek. V hornej časti ukážka metódy pomocou Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek.



Obr. 6.6: Vyhladená obálka posuvným priemerujúcim filtrom. V hornej časti metóda Hilbertovej transformácie, v spodnej časti metóda odčítaním vzoriek.

### 6.2.3 Detekcia maxím s parametrom *MPD*

Pre prvý krok detekcie maxím v Matlabe je využitá funkcia `findpeaks()` s parametrom *MPD* pre minimálnu vzdialenosť maxím:

```
[peaks, locs] = findpeaks(filt, 'MINPEAKDISTANCE', MPD),
```

kde `filt` je vstupný signál, v našom prípade absolútna hodnota vyhladenej obálky. `MINPEAKDISTANCE` značí aktivovanú funkciu pre určenie minimálnej vzdialenosti jednotlivých maxím, parameter *MPD* určuje minimálnu vzdialenosť maxím. Hodnota a poloha maxima je zapísaná v `peaks` a `locs`. Vzhľadom na rôzne tempo reči jednotlivých pacientov sú nastavené rôzne minimálne vzdialenosti jednotlivých maxím. Aby bola zachovaná univerzálnosť pre rôzne vzorkovacie frekvencie  $f_{vz}$  nahrávok, do výpočtu je zahrnutá aj vzorkovacia frekvencia  $f_{vz}$ . Po otestovaní sú parametre nastavené na hodnoty:

$$MPD_1 = \frac{f_{vz}}{20}, \quad (6.2)$$

$$MPD_2 = \frac{f_{vz}}{25}. \quad (6.3)$$

Na Obr. 6.7 a Obr. 6.8 môžeme vidieť detekciu maxím s rôznym parametrom *MPD* pre obe metódy výpočtu obálky signálu.

### 6.2.4 Detekcia maxím s parametrom *MPH*

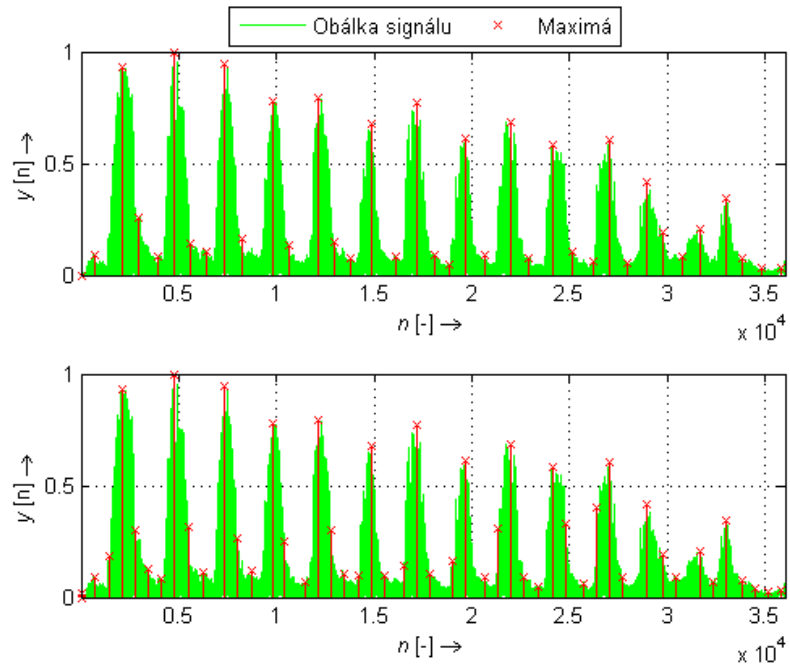
Detekované maximá z predošlého kroku interpolujeme a opäť detekujeme maximá pomocou funkcie `findpeaks()`, tentokrát s parametrom *MPH*:

```
[peaks, locs] = findpeaks(interp, 'MINPEAKHEIGHT', MPH),
```

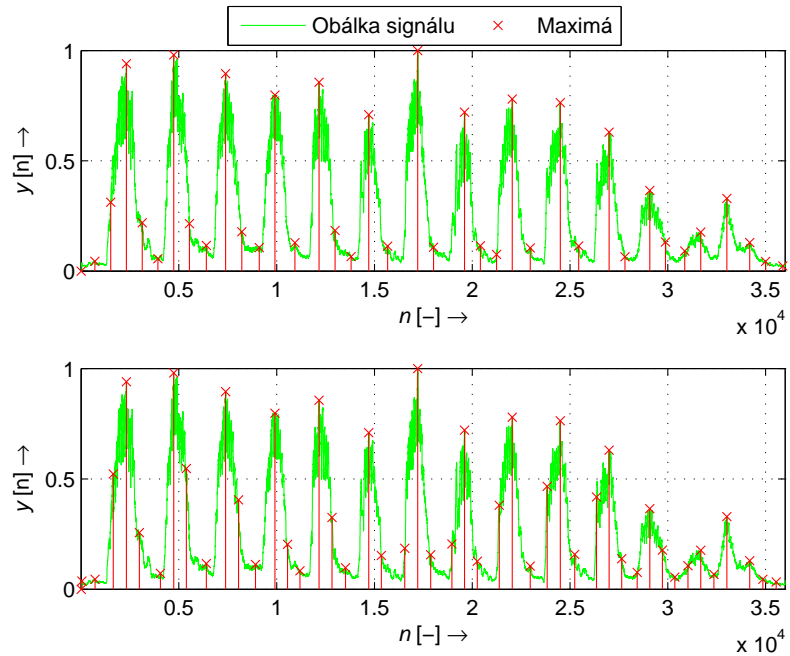
kde `interp` je interpolovaný signál y predošlého kroku, `MINPEAKHEIGHT` značí aktivovanú funkciu pre určenie minimálnej výšky jednotlivých maxím a *MPH* je parameter určujúci minimálnu výšku detekovaného maxima. Minimálna úroveň maxím bola po otestovaní nastavená empiricky:

$$MPH = \frac{e_s}{15}, \quad (6.4)$$

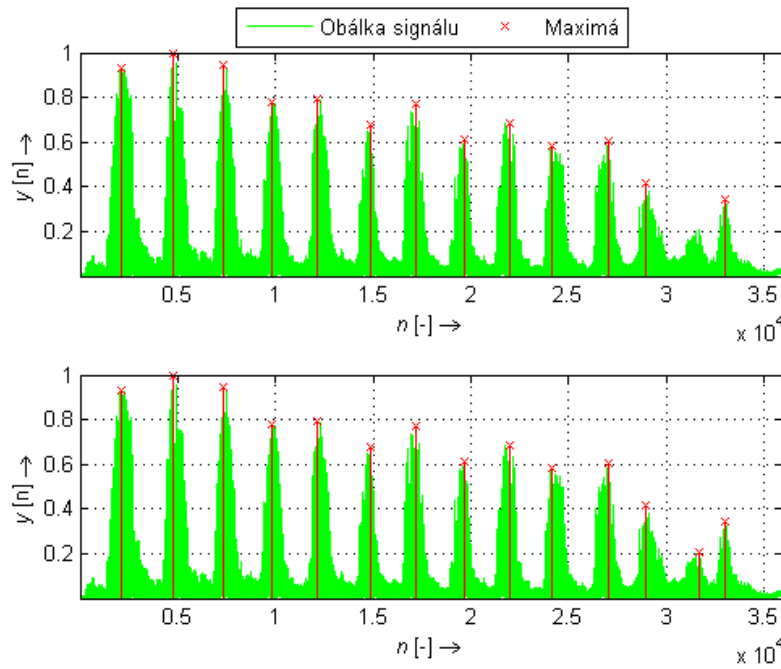
kde  $e_s$  je stredná hodnota vypočítanej obálky signálu. Na Obr. 6.9 a Obr. 6.10 vidíme vyfiltrované maximá po opätovnom hľadaní maxím s parametrom *MPH*. V tomto bloku prebieha výpočet štandardných odchýliek  $SD_1$  a  $SD_2$  pre detekciu maxím s parametrom  $MPD_1$  a  $MPD_2$ .



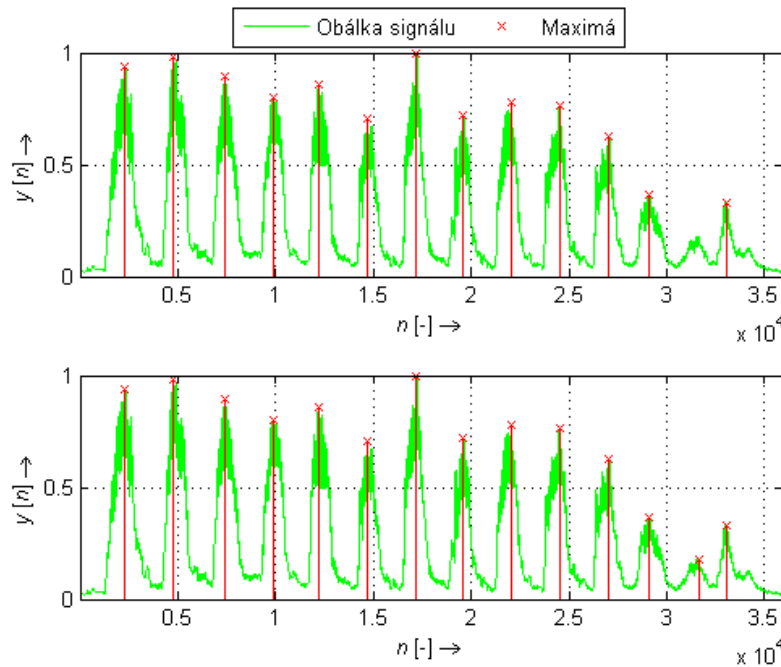
Obr. 6.7: Detekcia maxím z obálky signálu počítanej Hilbertovou transformáciou s rôznym parametrom  $MPD$ . V hornej časti s parametrom  $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom  $MPD_2$ .



Obr. 6.8: Detekcia maxím z obálky signálu počítanej odčítaním vzoriek s rôznym parametrom  $MPD$ . V hornej časti s parametrom  $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom  $MPD_2$ .



Obr. 6.9: Detekcia maxím z obálky počítanej Hilbertovou transformáciou s parametrom  $MPH$ . V hornej časti s parametrom  $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom  $MPD_2$ .



Obr. 6.10: Detekcia maxím z obálky počítanej odčítaním vzoriek s parametrom  $MPH$ . V hornej časti s parametrom  $MPD_1$ , v spodnej časti s parametrom  $MPD_2$ .

### 6.2.5 Porovnanie štandardnej odchyľky

Pri testoch DDK sa pacienti snažia hovoriť periodicky, pretože sa opakovane a správne snažia vysloviť predpísaný test. Vzhľadom na túto skutočnosť porovnáme štandardnú odchyľku  $SD$  detekcie maxim z bloku Detekcia maxim  $MPD$  pre rôzne parametre  $MPD_1$  a  $MPD_2$ . Na základe nižšej štandardnej odchyľky volíme vhodnejší variant detekovaných maxim.

### 6.2.6 Prepočet maxim

Detekované maximá z obálky signálu nekorešpondujú s pôvodným vstupným signálom. V bloku Prepočet maxim sú maximá detekované z obálky prepočítané do pôvodného signálu. Prepočet maxim sa prevádza výpočtom maximálnej hodnoty signálu v okolí detekovaného maxima z obálky signálu. Vzdialenosť, s ktorou pracuje algoritmus, určuje parameter  $range\_max$ . Tento parameter je počítaný podobne ako parameter  $MPD$ . Do úvahy sa berie tempo reči a vzorkovacia frekvencia  $f_{vz}$  a víťazný parameter  $range\_max$  je volený na základe nižšej štandardnej odchyľky. Po otestovaní sú určené hodnoty:

$$range\_max = \frac{f_{vz}}{25}, \text{ pre } SD_1 < SD_2, \quad (6.5)$$

$$range\_max = \frac{f_{vz}}{40}, \text{ pre } SD_1 > SD_2. \quad (6.6)$$

### 6.2.7 Parametrizácia

V bloku parametrizácia prebieha výpočet parametrov uvedených v kapitole 3. Parametre reči sú počítané z pôvodného signálu, k výpočtom sú využívané detekované maximá a ich lokácie. Parametre sú počítané zvlášť pre obe metódy výpočtu obálky signálu.

### 6.2.8 Export výsledkov

Výpočet parametrov je sprevádzaný zápisom parametrov do štruktúry **results**. V štruktúre sú uložené názov nahrávky, typ výpočtu obálky, všetky vypočítané parametre a hodnoty jednotlivých maxim s ich lokáciami. V prípade spustenia automatického skriptu sa do štruktúry **results** zapisujú dáta pre všetky analyzované nahrávky.

### 6.2.9 Štatistický Mann-Whitneyho U test

Štatistický neparametrický Mann-Whitneyho U test sa využíva pri porovnaní mediánov dvoch nezávislých vzoriek. Význam testu spočíva v odpovedi na otázku, či je rozdiel mediánov (priemerov poradí) dvoch skupín štatisticky významný alebo náhodný. Štatisticky významné rozdiely sa uvádzajú pri splnení podmienky:

$$p < 0,05, \tag{6.7}$$

kde  $p$  je výstup testu. Ak je splnená podmienka testu, znamená to, že medzi poradovou premennou a binárnou premennou existuje vzťah. V Matlabe je pre výpočet použitá funkcia `ranksum()`.

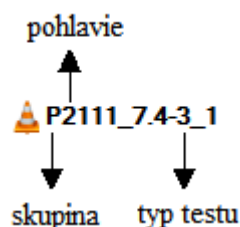
## 7 TESTOVANIE

Nahrávky pre testovanie boli poskytnuté Fakultnou nemocnicou u Sv. Anny v Brne. Test prebehol na 453 nahrávkach, z ktorých je 295 skupina pacientov a 158 kontrolná skupina. Medzi hovoriacimi sa nachádzajú muži aj ženy a nahrávky sú vytvorené na troch typoch DDK testov: /pa-/ta-/ka/, /p-/t-/k/ a /ba-/ba-/ba/. V kontrolnej skupine sa nachádza 81 nahrávok žien a 77 nahrávok mužov. V skupine pacientov sa nachádza 119 nahrávok žien a 176 nahrávok mužov. Nahrávky sú súkromným majetkom a sú chránené, nie je možné ich zverejňovať. Označovanie nahrávok je možné vidieť na Obr. (7.1).

Skupina: P skupina pacientov, K kontrolná skupina.

Pohlavie: 1 žena, 2 muž.

Typ testu: 1 /ba-/ba-/ba/, 2 /p-/t-/k/, 3 /pa-/ta-/ka/.



Obr. 7.1: Označovanie nahrávok.

Dĺžka nahrávok je v rozmedzí 1–7 [s], prevažná väčšina nahrávok má 3–4 [s]. Nahrávky sú vzorkované vzorkovacou frekvenciou :

$$f_{vz} = 16000 \text{ [Hz]}. \quad (7.1)$$

V Matlabe boli vytvorené funkcie: `main.m`, `mainrun.m` pre samotný výpočet obálky signálu, maxím a parametrov. Funkcia `grafy.m` slúži pre vykresľovanie grafov, funkcia `mann_whitney.m` pre výpočet štatistických výsledkov a posledná funkcia `zapis_do_suboru.m` pre zápis výsledkov do súboru. Funkcie sa spúšťajú jedným spoločným skriptom `RUN_ME.m`. Pri spúšťaní skriptu je možnosť zvoliť nasledujúce parametre. Parameter `volba` dáva možnosť výberu spracovania jedného súboru zo zvolenej zložky alebo spustenie automatického skriptu pre všetky súbory zo zložky DDK. Parameter `vykresli_grafy` aktivuje vykresľovanie výstupných grafov detekcie maxím a výpočtu parametrov. Vykresľovanie grafov je možné aktivovať iba pri práci s jedným súborom. Pre vykreslenie grafov automatického skriptu je pripravený parameter `uloz_grafy`. Do zložky `GRAFY` sa v priebehu spracovávaní všetkých nahrávok ukladajú grafy priebehov parametrov tempo reči,

perióda maxím a intenzita maxím. Názov súboru je vytvorený v nasledovnom poradí: typ testu, parameter, skupina rečníka, názov nahrávky.

Testovanie algoritmu a ladenie parametrov algoritmu prebiehalo s nastavením parametrov `volba = 1` a `vykresli_grafy = 1`. Samotná parametrizácia a výpočet výsledkov prebiehala automaticky na všetkých poskytnutých nahrávkach, parametre `volba = 0` a `uloz_grafy = 1`.

## 7.1 Výpočet parametrov

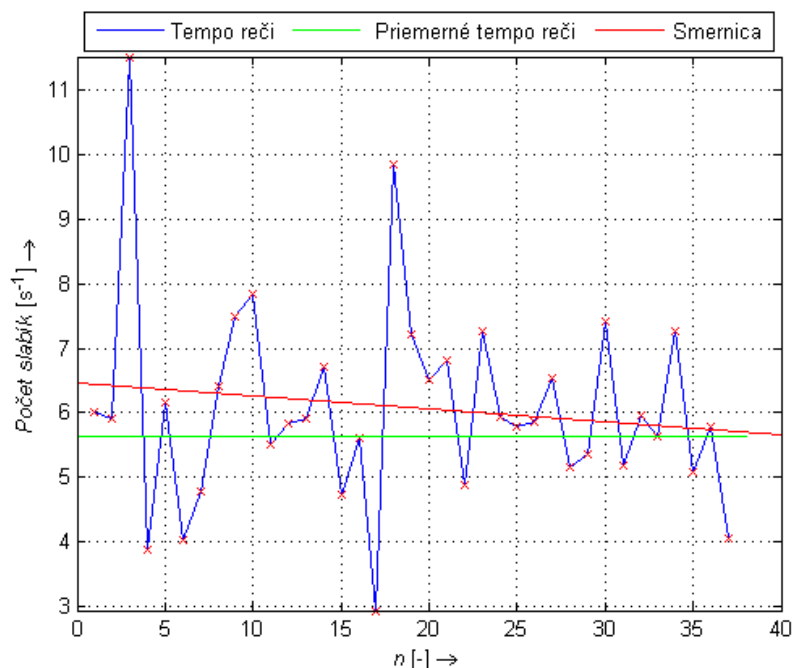
Parametre zapísané v štruktúre `results` sú exportované do textového súboru `results.txt`. Spracované sú v programe Microsoft Office, kde je vytvorené makro "Načítaj data" pre import dát a usporiadanie výsledkov do tabuliek. Výsledky sú triedené podľa typu testu, pohlavia a použitej metódy pre výpočet obálky signálu. Na základe správnejšej detekcii maxím sú v nasledujúcej časti práce komentované výsledky získané metódou výpočtu obálky signálu odčítaním vzoriek.

Parametre sa odlišujú ako pre pohlavie tak aj pre každý typ testu. Tab. 7.1 ukazuje výsledné parametre pre skupinu mužov, všetky typy testov a porovnáva skupinu pacientov a kontrolnú skupinu, pre obe metódy výpočtu obálky signálu.

U mužov je priemerná perióda  $DDK_{prp}$  pacientov približne rovnaká alebo vyššia ako výsledky kontrolnej skupiny. Obrátená hodnota  $DDK_{prp}$  je parameter priemerné tempo  $DDK_{prt}$ . Vyjadruje počet vyslovených slabík za sekundu. Priemerné tempo nahrávok pacientov je približne rovnaké alebo nižšie ako u nahrávok kontrolnej skupiny. Tieto parametre nedokážu zohľadniť priebeh nahrávky, preto sú doplnené parametrom štandardná odchyľka periódy  $DDK_{sop}$ , ktorá je výrazne vyššia u pacientov o 14–22 % a parametrom koeficient variácie periódy  $DDK_{kvp}$ , ktorý u pacientov nadobúda hodnoty vyššie o 10–22 %. Hodnoty parametra jitter  $DDK_{jit}$  sú väčšie o 10–21 %. Najväčšie rozdiely v tempe reči vykazujú pacienti pri teste 1. Pri type testu 1 pacienti začínajú hovoriť na úrovni tempa, ktoré si nedokážu udržať a v priebehu času im klesá, viď Obr 7.2. Následne sa snažia tempo reči vyrovnáť na pôvodnú úroveň, čo často vedie k zvýšeniu tempa reči nad pôvodnú hodnotu. Kolísanie sa opakuje a tempo reči variuje s veľkou hodnotou štandardnej odchyľky. V závislosti od úrovne ochorenia pacienti majú schopnosť korigovať tempo reči viac či menej, smernica tempa reči potom môže na základe toho v čase klesať, stúpať alebo ostáva približne konštantná. Tento jav sa v menšej miere prejavuje aj pri ostatných typoch testov.

Test 2 a 3 spôsobujú pacientom problémy pri vyslovovaní prvých slabík alebo hlások na začiatku nahrávky a takisto v rámci jednotlivých trojíc. Pacienti výrazne predlžujú dĺžku okluzívy v začiatku nahrávky a v prvej slabike oproti 2. a 3. slabike

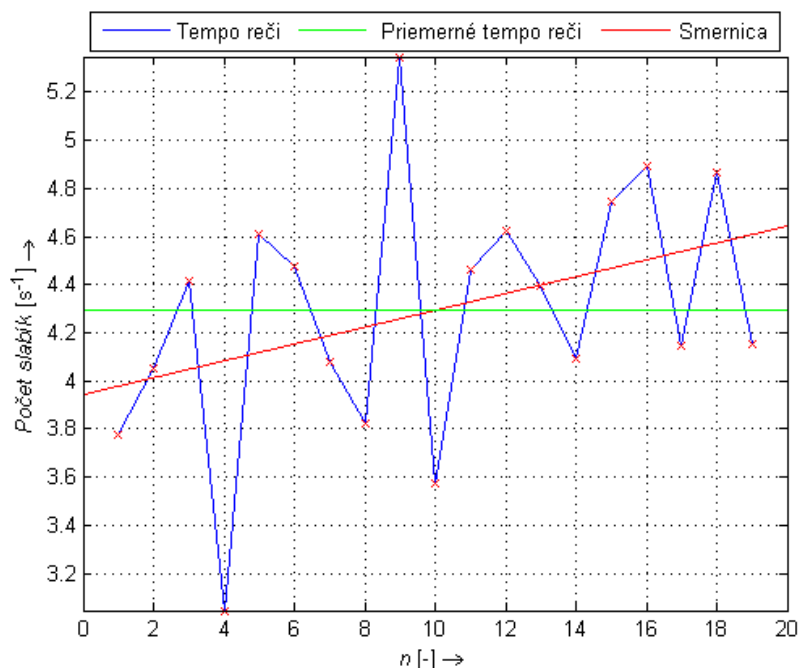




Obr. 7.2: Priebek tempa reči pacienta muža, typ testu 1.

v teste /pa/-/ta/-/ka/. Perióda v rámci vyslovenia trojice /pa/-/ta/-/ka/ je nižšia ako medzi dvoma trojicami. Pacienti po dlhej okluzíve pri vyslovovaní /pa/ vyslovia ostatné dve slabiky /ta/-/ka/ plynulo, takmer bez pauzy. Pauzy medzi trojicami sa potom prejavujú dlhou okluzívou alebo zasekávaním. Pri týchto typoch testu tempo reči v čase stúpa, vzhľadom na problémy s vyslovením prvých slabík. Pacient po vyslovení slabík po prvom alebo druhom pokuse rozpráva nekontrolovateľne rýchlejšie. Priebek tempa môžeme vidieť na Obr 7.3.

Parametre priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$  a priemerná intenzita maxím  $DDK_{pim}$  sú u pacientov nižšie o 1,6–3 [dB]. Nižší priemer spôsobuje strmšie klesajúca smernica intenzity v čase nahrávky, intenzita klesá najvýraznejšie ku koncu prejavu. Parametre maximálna intenzita nahrávky  $DDK_{min}$  a maximálna intenzita maxím  $DDK_{mim}$  sa môžu odlišovať chybnou detekciou maxima slabiky, nesprávnym prepočítaním maxima do pôvodného signálu alebo šumom s vyššou intenzitou ako je intenzita reči. Na Obr. 7.4 môžeme vidieť porovnanie priebehu intenzity pacienta a reprezentanta z kontrolnej skupiny, typ testu 1. Pacienti majú problémy s udrжанím intenzity na jednej úrovni. Intenzita v čase klesá strmšie ako u rečníkov kontrolnej skupiny v priemere o 3 [dB]. Na druhú stranu, pacienti dosahujú menšie rozdiely parametra štandardná odchylka intenzity maxím  $DDK_{soi}$  oproti kontrolnej skupine. Väčší rozdiel sa prejavuje pri teste 2. Pacienti tu často kladú dôraz na prvú vyslovenú konsonantu /p/, konsonanty /t/ a /k/ sú prevažne dopovedané na jeden výdych spolu s konsonantou /p/, čím výrazne klesá intenzita maxím v rámci trojice

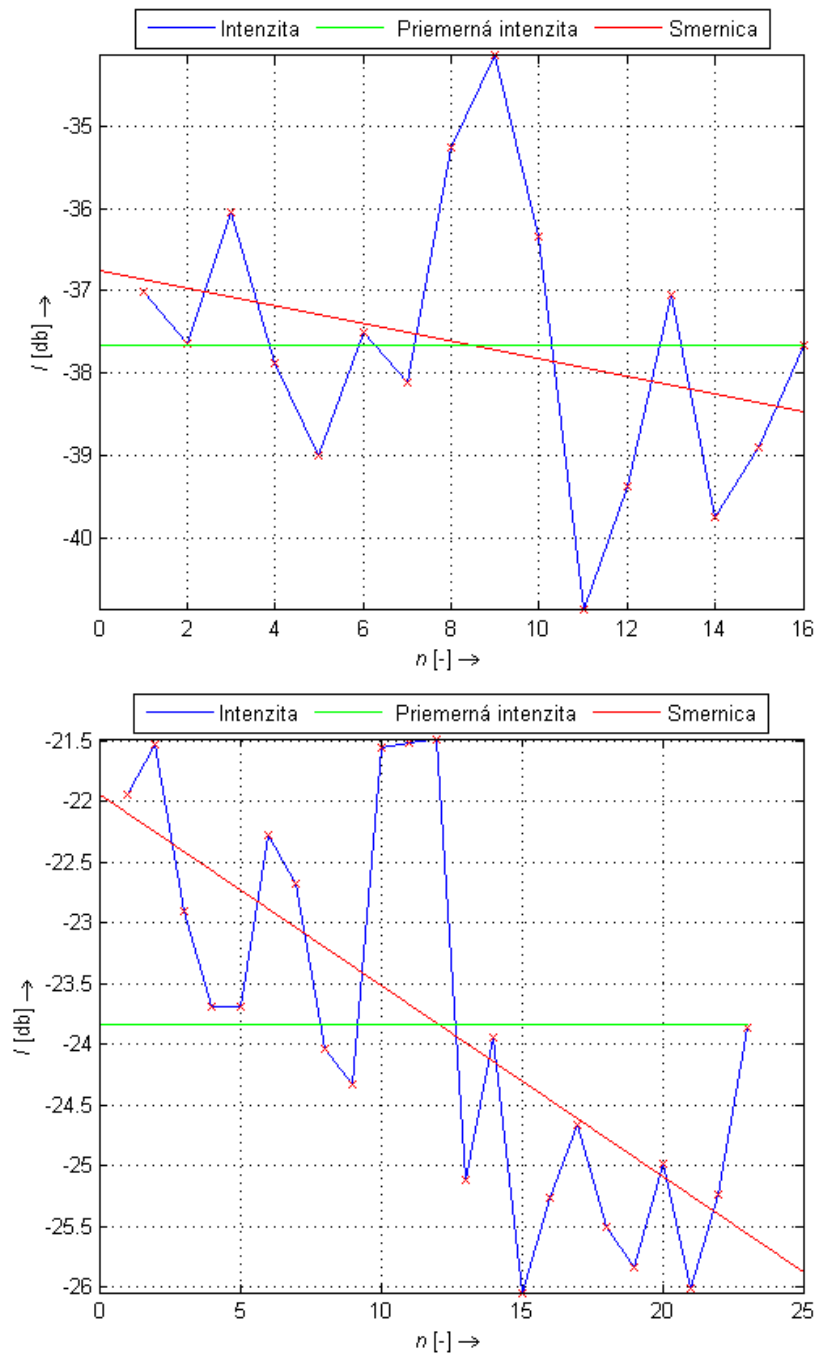


Obr. 7.3: Priebeh tempa reči pacienta muža, typ testu 3.

konsonant.

V Tab. 7.2 sú zobrazené výsledky pre skupinu žien, porovnanie pre všetky typy testov a porovnanie medzi skupinou pacientov a kontrolnou skupinou. Prejav žien oproti mužom je tichší, priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$  je nižšia o 4 [dB]. Pri teste typu 2 a 3 je tempo reči pomalšie, pri teste typu 1 je tempo reči približiteľné hodnotám, ktoré dosahujú muži. Rozdiely medzi skupinou pacientok a kontrolnou skupinou nie sú také markantné ako u mužov. Najväčšie rozdiely parametra priemerná perióda  $DDK_{prp}$  pozorujeme pri teste 3 a to 26 [ms], u mužov bol najvyšší rozdiel 64 [ms] pri teste 2. Rečový prejav žien je stabilnejší čo sa týka tempa reči. Štandardná odchylka periódy  $DDK_{sop}$  je nižšia u žien o 15–30 % a koeficient variácie periódy  $DDK_{kvp}$  o 15–30 % podľa typu testu.

Zásadný rozdiel môžeme pozorovať pri parametri priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$ , kedy je priemerná intenzita nahrávky skupiny pacientok vyššia o 1,5 [dB] pri teste 1 a približne rovnaká pri testoch 2 a 3. U mužov sledujeme klesajúcu tendenciu priemernej intenzity nahrávky. Pri teste 2 a 3 je parameter  $DDK_{soi}$  nižší u žien ako u mužov. Najväčší problém so stabilitou intenzity majú pacientky pri teste 2, viď Obr. 7.5. Pri teste 3 dosahujú pacientky lepšie výsledky oproti kontrolnej skupine. Pri týchto testoch majú ženy stabilnejšiu reč z pohľadu variácie intenzity maxím.



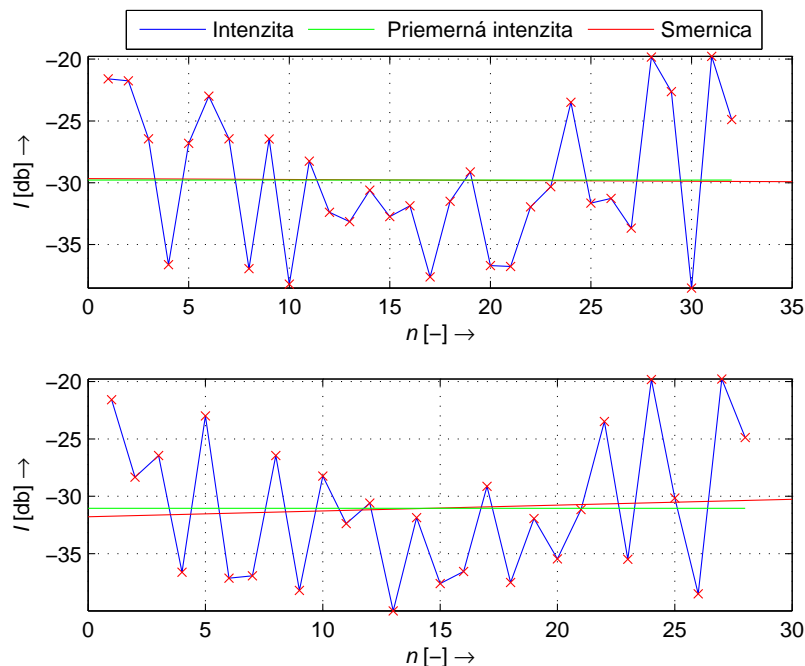
Obr. 7.4: Priebeh intenzity muža, typ testu 1, V hornej časti ukážka priebehu rečníka kontrolnej skupina, v spodnej časti ukážka priebehu rečníka pacienta.

		Kontrolná skupina			Skupina pacientov		
		Typ testu					
Parameter	Jed.	1	2	3	1	2	3
Metóda výpočtu obálky Hilbertovou transformáciou							
$DDK_{prp}$	[s]	0,1740	0,1743	0,1771	0,1714	0,1753	0,1780
$DDK_{prt}$	[s <sup>-1</sup> ]	5,8364	5,8284	5,7535	5,9168	5,8293	5,7184
$DDK_{sop}$	[s]	0,0294	0,0405	0,0387	0,0360	0,0463	0,0457
$DDK_{kvp}$	[%]	16,9071	23,1539	21,8622	20,9249	26,0861	25,5688
$DDK_{pim}$	[dB]	-24,9763	-26,6419	-25,4976	-27,5763	-29,3534	-28,8054
$DDK_{mim}$	[dB]	-20,4943	-20,7637	-20,1655	-22,9733	-23,2496	-22,8442
$DDK_{pin}$	[dB]	-42,2644	-44,9825	-44,5131	-43,8906	-47,5838	-47,5986
$DDK_{min}$	[dB]	-20,3936	-20,5698	-19,7369	-22,8364	-22,9544	-22,6309
$DDK_{soi}$	[dB]	2,1945	3,1352	2,9231	2,2846	3,9410	3,3572
$DDK_{kvi}$	[%]	9,6799	12,7689	13,2983	8,4581	13,7640	12,0241
$DDK_{jit}$	[%]	0,0345	0,0455	0,0417	0,0408	0,0503	0,0480
Metóda výpočtu obálky odčítaním vzoriek							
$DDK_{prp}$	[s]	0,1701	0,1736	0,1761	0,1700	0,1804	0,1786
$DDK_{prt}$	[s <sup>-1</sup> ]	5,9697	5,9529	5,7784	6,0039	5,7385	5,7262
$DDK_{sop}$	[s]	0,0294	0,0405	0,0387	0,0360	0,0463	0,0457
$DDK_{kvp}$	[%]	17,4884	23,5124	22,4281	21,3395	25,7709	25,8155
$DDK_{pim}$	[dB]	-25,1631	-27,0552	-25,9730	-27,7507	-29,9454	-29,3106
$DDK_{mim}$	[dB]	-20,4950	-21,1473	-20,1422	-22,9928	-23,5290	-23,0941
$DDK_{pin}$	[dB]	-42,2644	-44,9825	-44,5131	-43,8906	-47,5838	-47,5986
$DDK_{min}$	[dB]	-20,3936	-20,5698	-19,7369	-22,8364	-22,9544	-22,6309
$DDK_{soi}$	[dB]	2,5336	3,3051	3,3787	2,6347	4,1252	3,5087
$DDK_{kvi}$	[%]	10,8440	13,3127	14,7621	9,7637	14,1708	12,3675
$DDK_{jit}$	[%]	0,0345	0,0455	0,0417	0,0408	0,0503	0,0480

Tab. 7.1: Porovnanie počítaných parametrov DDK testov muža pre kontrolnú skupinu a skupinu pacientov. Typ testu 1 = /ba/-/ba/-/ba/, 2 = /p/-/t/-/k/, 3 = /pa/-/ta/-/ka/.

		Kontrolná skupina			Skupina pacientov		
		Typ testu					
Parameter	Jed.	č.1	č.2	č.3	č.1	č.2	č.3
Metóda výpočtu obálky Hilbertovou transformáciou							
$DDK_{prp}$	[s]	0,1736	0,1855	0,1822	0,1786	0,1847	0,1831
$DDK_{prt}$	[s <sup>-1</sup> ]	5,8323	5,4866	5,6143	5,7490	5,4955	5,5432
$DDK_{sop}$	[s]	0,0308	0,0423	0,0375	0,0351	0,0443	0,0408
$DDK_{kvp}$	[%]	17,7554	22,4452	20,3575	19,8785	23,8787	22,2117
$DDK_{pim}$	[dB]	-29,5208	-31,4482	-31,3636	-28,1536	-29,8501	-29,9485
$DDK_{mim}$	[dB]	-25,2360	-26,0328	-25,3312	-23,5135	-23,8889	-24,9347
$DDK_{pin}$	[dB]	-46,0588	-48,3890	-48,3604	-44,4853	-48,2516	-48,5950
$DDK_{min}$	[dB]	-24,9603	-26,0064	-25,2587	-23,4641	-23,7622	-24,8965
$DDK_{soi}$	[dB]	2,3675	3,1984	3,0432	2,5636	3,4974	3,1002
$DDK_{kvi}$	[%]	8,5375	10,6007	10,2438	9,5949	11,7812	10,4457
$DDK_{jit}$	[%]	0,0371	0,0443	0,0435	0,0389	0,0478	0,0456
Metóda výpočtu obálky odčítaním vzoriek							
$DDK_{prp}$	[s]	0,1710	0,1870	0,1814	0,1740	0,1864	0,1840
$DDK_{prt}$	[s <sup>-1</sup> ]	5,9175	5,4632	5,6735	5,8723	5,4442	5,5334
$DDK_{sop}$	[s]	0,0308	0,0423	0,0375	0,0351	0,0443	0,0408
$DDK_{kvp}$	[%]	17,9845	22,2079	20,8026	20,3504	23,6197	22,1810
$DDK_{pim}$	[dB]	-29,8253	-31,5871	-32,0938	-28,4144	-30,2519	-30,2257
$DDK_{mim}$	[dB]	-25,2415	-26,1287	-25,4115	-23,5428	-24,0097	-24,9842
$DDK_{pin}$	[dB]	-46,0588	-48,3890	-48,3604	-44,4853	-48,2516	-48,5950
$DDK_{min}$	[dB]	-24,9603	-26,0064	-25,2587	-23,4641	-23,7622	-24,8965
$DDK_{soi}$	[dB]	2,6778	3,1449	3,6172	3,0165	3,7795	3,4470
$DDK_{kvi}$	[%]	9,4853	10,3976	12,0450	11,2037	12,7111	11,6189
$DDK_{jit}$	[%]	0,0371	0,0443	0,0435	0,0389	0,0478	0,0456

Tab. 7.2: Porovnanie počítaných parametrov DDK testov ženy pre kontrolnú skupinu a skupinu pacientov. Typ testu 1 = /ba/-/ba/-/ba/, 2 = /p/-/t/-/k/ 3 = /pa/-/ta/-/ka/.



Obr. 7.5: Priebec intenzity ženy pacientky, typ testu 2.

## 7.2 Vyhodnotenie štatistickým testom

Pre výpočet neparametrického Mann-Whitneyho U testu je vytvorená v Matlabe funkcia `mann_whitney.m`. Výsledky sú vypočítané zo štruktúry `results` a následne sú exportované do textového súboru `results_ranksum.txt`. Pre vhodnú úpravu do výsledných tabuliek je vytvorené makro v Microsoft Office. Upravené tabulky je možné vidieť v súbore `vysledky.xlsm`.

Výsledky Mann-Whitneyho U testu sú zobrazené zvlášť v Tab.7.3 pre mužov a Tab.7.4 pre ženy. Farebne vyznačené sú štatisticky významné parametre s hodnotou  $p < 0,05$ . Hodnoty, ktoré sa ukázali štatisticky významné sú dobre pozorovateľné aj z vypočítaných parametrov a priebehov grafov uvedených v predošlej podkapitole Výpočet parametrov. Štatisticky významné hodnoty sa objavujú iba pri skupine mužov. Pre typ testu 1 sú to parametre štandardná odchylka periódy  $DDK_{sop}$ , koeficient variácie periódy  $DDK_{kvp}$  a jitter  $DDK_{jit}$ . Pre test 2 je to parameter štandardná odchylka intenzity  $DDK_{soi}$  a pre test 3 parametre priemerná intezita maxím  $DDK_{pim}$ , maximálna intenzita maxím  $DDK_{mim}$  a priemerná intezita nahrávky  $DDK_{pin}$ . V Tab.7.3 vidíme štatisticky významné hodnoty pre parameter štandardná odchylka periódy  $DDK_{sop}$  a koeficient variácie periódy  $DDK_{kvp}$  pre typ testu 1. Zanedbateľné nie sú ani štatistické výsledky pre ostatné testy. Celkovo pacienti nedokážu udržať tempo reči na jednej úrovni priebehu nahrávky. Tempo im kolíše počas prejavu, podľa úrovne ochorenia sú alebo nie sú schopný

ho korigovať. Pre test 2 sú štatisticky významné hodnoty vypočítané pre parameter štandardná odchylka intenzity  $DDK_{soi}$ . Pre test 3 sú štatisticky významné hodnoty vypočítané pre parametre priemerná intenzita maxím  $DDK_{pim}$ , maximálna intenzita maxím  $DDK_{min}$  a priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$ . Pre všetky typy testov pacientom klesá intenzita prejavu v čase. Najmenší pokles sledujeme pri teste 1, kedy sa pacienti snažia korigovať spolu s tempom reči aj intenzitu nahrávky, čím zmierňujú pokles intenzity.

	Hilbertova transformácia			Odčítanie vzoriek		
	Typ testu					
	1	2	3	1	2	3
$DDK_{prp}$	0.545359	0.537665	0.800468	0.820130	0.439593	0.785764
$DDK_{prt}$	0.545359	0.537665	0.800469	0.820130	0.439593	0.785764
$DDK_{sop}$	0.010203	0.228843	0.162346	0.010203	0.228843	0.162346
$DDK_{kvp}$	0.004942	0.244338	0.165232	0.006269	0.457161	0.223979
$DDK_{pim}$	0.113656	0.100260	0.025318	0.101000	0.068806	0.034641
$DDK_{min}$	0.136209	0.100260	0.064968	0.101000	0.068806	0.034641
$DDK_{pin}$	0.402624	0.126962	0.040779	0.402624	0.126962	0.040779
$DDK_{min}$	0.160624	0.105416	0.052856	0.160624	0.105416	0.052856
$DDK_{soi}$	0.564817	0.038074	0.238850	0.857938	0.030610	0.583418
$DDK_{kvi}$	0.775313	0.394688	0.822658	0.545359	0.362904	0.713478
$DDK_{jit}$	0.012721	0.378590	0.153915	0.012721	0.378590	0.153915

Tab. 7.3: Štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu pre mužov.

V Tab. 7.4 vidíme štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu pre ženy. V tomto prípade nie sú vypočítané žiadne štatisticky významné hodnoty. Najväčšie rozdiely vznikajú pre parameter priemerná intenzita maxím  $DDK_{pim}$  pre test 3. Pre test 2, ktorý spôsoboval pacientkam ženám najväčšie ťažkosti z hľadiska intenzity sú to parametre maximálna intenzita maxím  $DDK_{min}$ , maximálna intenzita nahrávky  $DDK_{min}$ , štandardná odchylka intenzity  $DDK_{soi}$  a parameter koeficient variácie intenzity  $DDK_{kvi}$ . Pre test 1 je to parameter priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$ .

Z výsledkov môžeme pozorovať spoločné javy kolísania intenzity a tempa reči v čase pre pacientov mužov aj ženy. Nedostatky v reči sa prejavujú rovnakým alebo podobným spôsobom. Pacienti majú problémy s udrzaním tempa reči na jednej úrovni, udrzaním intenzity na jednej úrovni. Jednotlivé parametre sú medzi sebou previazané a navzájom sa ovplyvňujú. Príkladom môže byť stúpajúce tempo reči a stúpajúca intenzita v prípade testu 1, kedy pacienti korigujú pokles týchto parametrov. Pacienti často vykazujú podobné výsledky ako kontrolná skupina

	Hilbertova transformácia			Odčítanie vzoriek		
	Typ testu					
	1	2	3	1	2	3
$DDK_{prp}$	0.600210	0.958395	0.462335	0.822992	0.624789	0.207994
$DDK_{prt}$	0.600210	0.958395	0.462335	0.822992	0.624789	0.207994
$DDK_{sop}$	0.247338	0.724741	0.424336	0.247338	0.724741	0.424336
$DDK_{kvp}$	0.237045	0.620184	0.431786	0.354057	0.676430	0.439312
$DDK_{pim}$	0.263358	0.328006	0.161600	0.354057	0.676430	0.439312
$DDK_{mim}$	0.219759	0.100323	0.443098	0.222166	0.080529	0.402441
$DDK_{pin}$	0.161600	0.885927	0.822992	0.161600	0.885927	0.822992
$DDK_{min}$	0.300471	0.076111	0.409658	0.300471	0.076111	0.409658
$DDK_{soi}$	0.381238	0.896235	0.659209	0.578177	0.162872	0.659209
$DDK_{kvi}$	0.247338	0.375162	0.715628	0.297507	0.064034	0.763876
$DDK_{jit}$	0.715628	0.262033	0.494053	0.715628	0.262033	0.494053

Tab. 7.4: Štatistické výsledky Mann-Whitneyho U testu pre ženy.

ale v strmšom merítku. Kým pokles intenzity rečníkov kontrolnej skupiny pri teste 3 je mierny, pokles intenzity pacientov je strmý.

Skutočnosť, že štatisticky významné hodnoty sa objavujú iba vo výsledkoch mužov môže byť spôsobená viacerými faktormi. Nahrávky, ktoré sú k dispozícii nie sú odlíšené podľa úrovne ochorenia pacienta Parkinsonovou chorobou. Medzi nahrávkami sa podľa vypočutia nachádzajú pacienti, ktorý sa len podľa sluchu nedajú odlíšiť od rečníkov kontrolnej skupiny. Ďalším faktorom, ktorý môže ovplyvniť výsledky uvádza literatúra [26]. Pacienti sa môžu sústrediť na svoj rečnícky výkon a dosahovať lepšie výsledky v testoch na úkor artikulácie. Tento jav sa uvádza hlavne pri neakustických úlohách, ovplyvniť však môže aj zaznamenané DDK úlohy. Ďalším faktorom môžu byť fyziologické predpoklady. Po vypočutí nahrávok kontrolnej skupiny je možné zhodnotiť nedostatky vo výslovnosti rečníkov pre každý typ testu a rečníka iným spôsobom. Tento faktor môže ovplyvniť rozdiely medzi jednotlivými testami aj medzi skupinou pacientov a kontrolnou skupinou. Posledným faktorom sú iné fyziologické predpoklady samotného pohlavia muža a ženy.



## 8 ZÁVER

V rámci diplomovej práce som sa venoval vysvetleniu pojmu hypokinetická dysartria, ktorá sa prejavuje u pacientov s Parkinsonovou chorobou. Pacienti postihnutí touto chorobou majú nižšiu schopnosť ovládať svoju reč, čo im môže spôsobovať problémy v bežnom živote. Prejavuje sa to neadekvátnou intenzitou hlasu a intonáciou, nevhodným umiestňovaním páуз v reči a zníženou schopnosťou prejavovať emócie zmenou intenzity hlasu. Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť a otestovať parametrizačné algoritmy, ktoré DDK úlohy vhodne kvantifikujú a analyzujú. Algoritmus bol implementovaný v prostredí Matlab. Výsledky sú upravené v Microsoft office. V prvom kroku algoritmu bola vypočítaná obálka rečového signálu dvoma spôsobmi. Prvá metóda výpočtu obálky pomocou Hilbertovej transformácie sa ukázala málo robustná pre reč znehodnotenú Parkinsonovou chorobou. Navrhnutá a implementovaná bola druhá metóda odčítaním vzoriek, ktorá po otestovaní dosahuje lepšie výsledky v správnej detekcii maxím. Samotná detekcia maxím prebiehala v dvoch krokoch s parametrom minimálnej vzdialenosti maxím a parametrom minimálnej úrovne maxím. Pred samotnou parametrizáciou boli detekované maximá v obálke signálu prepočítané do pôvodného signálu. Posledným krokom práce bolo štatistické vyhodnotenie vypočítaných parametrov Mann-Whitneyho U testom. Testované nahrávky boli poskytnuté Fakultnou nemocnicou u sv. Anny v Brne. Nahrávky z dôvodu ochrany údajov nie sú priložené k práci.

Ako štatisticky významné sa ukázali parametre pre skupinu mužov. Pre typ testu 1 sú to parametre štandardná odchyľka periódy  $DDK_{sop}$ , koeficient variácie periódy  $DDK_{kvp}$  a jitter  $DDK_{jit}$ . Pre tento typ testu je charakteristické kolísanie tempa reči. Tempo reči pacienta klesá, čo sa snaží napraviť. To vedie k zvýšeniu tempa reči nad pôvodnú hodnotu. Pre typ testu 2 je štatisticky významný parameter  $DDK_{soi}$ . Pri tomto teste pacienti kladú dôraz na prvú konsonantu /p/, kedy neúmerne predlžujú dĺžku okluzívy. Po vyslovení konsonanty /p/ nasleduje vyslovenie ďalších konsonant /t/ a /k/ so skrátenou okluzívou. Pacienti majú problémy vysloviť konsonantu /p/ prevažne na začiatku nahrávky.

Pre typ testu 3 sú štatisticky významné parametre priemerná intenzita maxím  $DDK_{pim}$ , maximálna intenzita maxím  $DDK_{mim}$  a priemerná intenzita nahrávky  $DDK_{pin}$ . Pre tento typ testu je charakteristické klesanie intenzity nahrávky v čase. Tento pokles je počutelný aj voľným vypočutím nahrávok. Spolu s poklesom intenzity je možné sledovať aj nárast tempa reči. Reč pacienta sa zrýchľuje a ztišuje. Tieto parametre sú vo veľa prípadoch previazané a navzájom sa ovplyvňujú.

Pre skupinu žien nie sú žiadne parametre štatisticky významné. Najviac sa k hodnote  $p < 0,05$  približujú parametre pre test 2 koeficient variácie intenzity  $DDK_{kvi}$ , maximálna intenzita nahrávky  $DDK_{min}$  a maximálna intenzita maxím  $DDK_{mim}$ .

Tento typ testu spôsobil pacientkam podobné ťažkosti ako v prípade mužov.

Pre spresnenie získaných výsledkov by sa nahrávky mohli rozdeliť do skupín podľa úrovne ochorenia pacienta PCH. To by umožnilo sledovať vývoj ochorenia pacienta z hľadiska jeho vlastností reči. Ako ďalší parameter pre ďalšiu analýzu DDK testami by bolo možné sledovať dĺžky okluzív jednotlivých slabík a ich vývoj v priebehu prejavu pacientov.

## LITERATURA

- [1] ČERNOCKÝ, J. *Zpracování rečových signálů*. Ústav počítačové grafiky a multimédií, FIT, VUT Brno, 2006.
- [2] PSUTKA, J, et al. *Mluvíme s počítačem česky*. Praha: Academia, 2001, poslední aktualizace 11. 11. 2004.
- [3] SMÉKAL, Z. *Číslíkové zpracování řeči (MZPR)*. Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.
- [4] SMÉKAL, Z. *Číslíkové zpracování signálů (MCSI)*. Elektronická skripta pro magisterská studia, Ústav telekomunikací, FEEC, VUT Brno, 2009.
- [5] RUSZ, J. ČMEJLA, R. *Analýza rychlosti řeči a intenzity u Parkinsonovy nemoci*, Akustické listy, 2008, 14(2–4), s. 13–16.
- [6] NEUBAUER K, et al. *Neurogenní poruchy komunikace u dospělých*. Praha: Portál 2007: 227.
- [7] LOGEMANN, J. FISHER H. *Vocal tract control in Parkinson 's Disease*. Journal of Speech and Hearing Disorders 1981; 46: 348—352.
- [8] ZAMIŠKOVÁ, G., RESSNER, P. DLOUHÁ, J. ŠIGUTOVÁ H. *Poruchy řeči u Parkinsonovy nemoci*. [online]. 2010. Dostupné z URL: <[http://www.solen.sk/index.php?page=pdf\\_view&pdf\\_id=4371&magazine\\_id=3](http://www.solen.sk/index.php?page=pdf_view&pdf_id=4371&magazine_id=3)>.
- [9] GOBERMAN, AM. COELHO, C. *Acoustic analysis of Parkinsonian speech I: Speech characteristics and L-Dopa therapy* NeuroRehabilitation, 2002, 237–246.
- [10] SOLOMON, N. HIXXON, T. *Speech breathing in Parkinson's disease*, Journal of Speech and Hearing Research 36 (1993), s. 294—310.
- [11] COUNTRYMAN, S. RAMIG, L. *Effects of intensive voice therapy on voice deficits associated with bilateral thalamotomy in Parkinson disease: A case study*, Journal of Medical Speech- Language Pathology 4 (1993), s. 233–250.
- [12] HO, A. BRADSHAW, J. IANSEK, R. ALFREDSON, R. *Speech volume regulation in Parkinson's disease: effects of implicit cues and explicit instructions*, Neuropsychologia 37 (1999).
- [13] HOLMES, R. OATES, J. PHYLAND, D. HUGHES, A. *Voice characteristics in the progression of Parkinson's disease* International Journal of Language and Communication Disorders 35 (2000), s. 417–418.

- [14] CANTER, G. *Speech characteristics of patients with Parkinson's disease: II. Physiological support for speech*, Journal of Speech and Hearing Disorders 30 (1965), s. 44—49.
- [15] METTER, J. HANSON, W. *Clinical and acoustical variability in hypokinetic dysarthria* Journal of Communication Disorders 19 (1986), s. 347—366.
- [16] CANTER, G. *Speech characteristics of patients with Parkinson's disease: III. Articulation, diadochokinesis, and overall speech adequacy*, Journal of Speech and Hearing Disorders 46 (1981), s.348—352.
- [17] LOGEMANN, J. FISHER, G. *Vocal tract control in Parkinson's disease: Phonetic feature analysis of misarticulations*, Journal of Speech and Hearing Disorders 46 (1981), s. 348—352.
- [18] ZWIRNER, P. BARNES, G. *Vocal tract steadiness: A measure of phonatory stability and upper airway motor control during phonation in dysarthria*, Journal of Speech and Hearing Research 35 (1992), s.761—768.
- [19] TYKALOVÁ, T. RUSZ, J. ČMEJLA, R. *Akustické analýzy nestability rytmu u parkinsonovej nemoci*
- [20] LE DORZE, G. RYALLS, J. BRASSARD, C. BOULANGER, N. RATTE, D. *A comparison of the prosodic characteristics of the speech of people with Parkinson's disease and Friedrich's ataxia with neurologically normal speakers* Folia Phoniatrica et Logopaedica 50 (1998), s. 1—9.
- [21] JIMENEZ-JIMENEZ, F. GAMBOA, J. NIETO, A. GUERRERO, J. ORTI-PAREJA M. MOLINA, J. GARCIA-ALBEA, E. COBETA, I. *Orti-Pareja, J. Molina, E. Garcia-Albea and I. Cobeta, Acoustic voice analysis in untreated patients with Parkinson's disease* Parkinsonism and Related Disorders 3 (1997), s. 111—116.
- [22] J. CAEKEBEKE, A. JENNEKENS-SCHINKEL, M; VAN DER LINDEN, I. BURUMA; ROOS R; *The interpretation of dysprosody in patients with Parkinson's Disease*, Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry 54 (1991), 145—148.
- [23] BUCK, J. F; COOPER. I. S., *Speech problems in Parkinsonian patients undergoing anterior choroidal artery occlusion or chemopallidectomy*.
- [24] WEST, R., A. *A neurological test for stutterers. 1.* Neurol. Psychother., 38, 114—123 (1929).

- [25] S. FLETCHER. *Time-by-count measurement of diadochokinetic syllable rate.* Journal of Speech and Hearing Research 15 (1972), 757—762.
- [26] ACKERMANN, H. HERTRICH, I, HEHR, T. *Oral diadochokinesis in neurological dysarthrias,* Folia Phoniatica et Logopaedica 47 (1995), 15—23.
- [27] MAXWELL, K. L. *A comparison of certain motor performances in children with normal speech and children with defective consonant articulation.* Doctoral dissertation, Univ. of Michigan (1953).
- [28] MATTHEWS J. and BYRNE M.C. *An experimental study of tongue flexibility in children with cleft palates* I. Speech Hearing Dis., 18, 43–47 (1953).
- [29] HIXXON, T. J; HARDY J. C. *Restricted motility of the speech articulators in cerebral palsy.* Speech Hearing Dis., 29, 293–306 (1964).
- [30] HAWK, A. M., and BLOOMER, H. H. *An acoustical and physiological analysis of lingual diadochokinesis.* Paper presented at the Annual Convention of the American Speech and Hearing Association, Chicago (1967).
- [31] CHENG-CHIEG YANG, YUG-MEI CHUNG, LIN-YANG-CHI, HSIU-HSIEN CHEN, YU-TSAI WANG. *Analysis of verbal diadochokinesis in normal speech using the diadochokinetic rate analysis program* Journal of Dental Sciences - December 2011 (Vol. 6, Issue 4, Pages 221-226, DOI: 10.1016/j.jds.2011.09.007).
- [32] S. DAS, J. H. L. HANSEN. *Detection of Voice Onset Time (VOT) for unvoiced stops (/p/, /t/, /k/) using the teager energy operator (TEO) for automatic detection of accented English.* In Proceedings of the 6th Nordic Signal Processing symposium, s.344-347, (2004).
- [33] ČMEJLA, R; RUSZ J; RŮŽIČKOVÁ H. *Oslabení okluzí v promluvách pacientů s Parkinsonovou chorobou* Akustické listy: ročník 15, číslo 3—4, s.12–18.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$DDK_{prp}$	Priemerná DDK perióda
$DDK_{prt}$	Priemerné DDK tempo
$DDK_{sop}$	Štandardná odchylka DDK periódy
$DDK_{kvp}$	Koeficient variácie DDK periódy
$DDK_{jit}$	Jitter DDK
$DDK_{pin}$	Priemerná DDK špičková intenzita
$DDK_{soi}$	Štandardná odchylka DDK špičkovej intenzity
$DDK_{kvi}$	Koeficient variácie DDK špičkovej intenzity
$DDK_{min}$	Maximálna intenzita DDK nahrávky
$DDK_{pin}$	Priemerná intenzita DDK nahrávky
$E_p$	prahovacia energia
$e_s$	stredná hodnota obálky signálu
$E_{seg}$	energia segmentu
$F_0$	frekvencia základného tónu
$f_{vz}$	vzorkovacia frekvencia
$L$	dĺžka segmentovaného signálu
$P$	dĺžka prekryvu segmentov
PCH	Parkinsonova choroba
$T_0$	perióda základného tónu